



CE-Kennzeichnung von Maschinen ¹

Ein Wegweiser zur Ermittlung von Geräuschangaben

Willi Nickel · Brüel & Kjær GmbH – Düsseldorf

Eine Vielzahl von **EU-Richtlinien** und Gesetzen zum Thema **Lärm** wurden in den letzten Jahren neu verabschiedet. Diese sind beispielsweise die **neue Maschinen-Richtlinie 2006/42/EG** (gültig seit dem 29.12.2009), die Zusammenfassung des Gerätesicherheitsgesetzes (GSG) mit dem Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) zum Geräte- & Produktsicherheitsgesetz (GPSG) und auch die überarbeitete Schalleistungs-Normenreihe DIN EN ISO 374x von 2011. Die neuen Verordnungen verringern einerseits den Aufwand für die CE-Kennzeichnung durch Reduzierung bisheriger Richtlinien und Gesetze, andererseits sind aber auch Hersteller und Importeure von Komponenten zur Herstellung von Maschinen aufgefordert ihre Produkte einem Konformitätsverfahren zu unterwerfen und zu kennzeichnen. Dies gilt auch für Maschinen, die nach einer Überholung wieder neu „in Verkehr“ gebracht werden.

Baumaschinen, sowie sonstige „im Freien betriebene Maschinen“, die unter die „Outdoor-Richtlinie“ (2000/14/EG), dem Änderungsnachtrag 2005/88/EG und der Umsetzung durch die Geräte- u. Maschinenschutz-Verordnung (32. BImSchV) fallen, dürfen ebenfalls nur nach einer CE-Kennzeichnung und den damit verbundenen Prüfungen in der EU verkauft werden.

Die für die CE-Kennzeichnung von Produkten erforderliche Ermittlung von Geräuschangaben gestaltet sich auf Grund der Richtlinienvielfalt sehr schwierig. Bei der Umsetzung dieser Richtlinien in die Praxis kommen Erschwernisse, wie eine akustisch ungeeignete Messumgebung, ein ungünstiger Aufstellungsort, große Abmessungen der Maschinen und oder hohe Fremdgeräuschpegel dazu.

Der erste Teil dieses Beitrags schafft eine Übersicht, welche Lärmparameter bestimmt werden müssen und erklärt die prinzipielle Vorgehensweise zur Schalleistungsbestimmung nach der Schalldruckmethode.

Der zweite Teil des Beitrags erklärt an Hand des Brüel & Kjær Schall-Analysators 2270 die Schallintensitäts-Methode. Eine Schallintensitäts-Messtechnik ist auf Grund der technischen Anforderungen nur bei wenigen Anbietern in der notwendigen Qualität erhältlich und ermöglicht die Bestimmung von Schalleistungen auch unter akustisch sehr ungünstigen Bedingungen, nahezu unabhängig von Raumeinfluss und Fremdgeräuschen. Durch die einfache Bedienung des Schallanalysators 2270 und Dokumentation der Messergebnisse sind Schalleistungsmessungen auch bei schwieriger Messumgebung leicht und präzise durchführbar.

Warum müssen Produkte eine CE-Kennzeichnung haben?

Hersteller und Importeure von Produkten und Maschinen sind verpflichtet gemäß entsprechenden EU-Richtlinien, wie z.B. der Maschinen-Richtlinie 2006/42/EG, der Outdoor-Richtlinie 2000/14/EG oder dem neuen Geräte- u. Produktsicherheitsgesetz (GPSG) ihre Maschinen bzw. Produkte zu kennzeichnen. Die CE-Kennzeichnung bestätigt, dass das Produkt alle einschlägigen Gemeinschaftsrichtlinien zur vollständigen Harmonisierung erfüllt und einem ordnungsgemäßen Konformitätsbewertungsverfahren unterzogen wurde.

Welche Geräuschangaben sind notwendig?

Für die CE-Kennzeichnung von Maschinen werden die folgenden Geräuschangaben gefordert:

Arbeitsplatzbezogener Emissionswert

DIN EN 3744, 3745, 3746, DIN EN ISO 11200 bis 11205

L_{pA}

Schalleistungspegel *

DIN EN ISO 3744 u. 3745 u. 3746, DIN EN 2767-1 u. 2767-2
DIN EN ISO 9614 -1, DIN EN ISO 9614 – 2, DIN EN ISO 9614 - 3

L_{WA}

Spitzenschalldruckpegel

des momentanen C-bewerteten Schalldruckpegels am Arbeitsplatz
DIN EN ISO 3744 u. 3746, DIN EN ISO 11200 bis 11205

L_{pCPeak}

**Die Outdoor-Richtlinie verlangt nur die Angabe des Schalleistungspegels.*

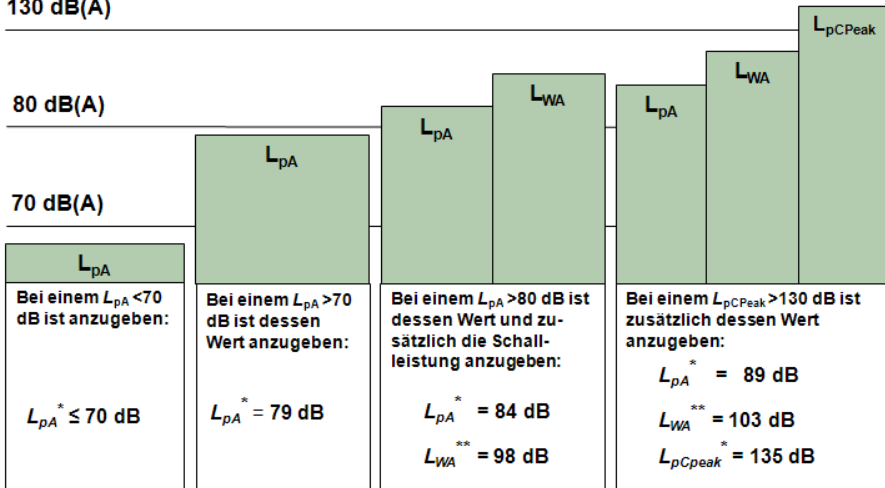
Der arbeitsplatzbezogene Emissionswert und der Schalleistungspegel sind Emissionswerte und korrigiert um Einflüsse von Raumrückwirkungen und Fremdgeräuschen. Die Angabe von Emissionswerten ermöglicht den direkten Vergleich der akustischen Angaben ähnlicher Maschinen von verschiedenen Herstellern.

¹ überarbeitete Version vom August 2011

130 dB(A)

80 dB(A)

70 dB(A)



* re 20 µPa
** re 1 pW

Abb. 1 - Welche Lärmparameter sind notwendig?

Wie bestimmt man eine Schalleistung nach der Schalldruckmethode?

Zur Bestimmung der **Schalleistung** L_{WA} einer Maschine sind die nachfolgend beschriebenen Punkte 1 - 6 zu beachten. Die Schalleistung ist zu ermitteln nach:

$$L_{WA} = \overline{L_{pA}} + 10 \cdot \lg \frac{S}{S_0} - K_1 - K_2 (dB)$$

$\overline{L_{pA}}$ = mittlerer Schalldruckpegel auf der Messfläche
 S = Messfläche (m²) S_0 = Bezugsfläche 1m²
 K_1 = Fremdgeräuschkorrektur K_2 = Korrektur für die Raumbückwirkung

1. Ermittlung einer Genauigkeitsklasse und der erweiterten Messunsicherheit

Zur Bestimmung der Schalleistung von Maschinen, Geräten und Baugruppen sind bestimmte Verfahren festgelegt. Es muss ein Verfahren ausgewählt werden, das den Randbedingungen und dem Zweck am besten entspricht. Dazu bieten sich die Normen der Reihe ISO 374X und weitere an. Allgemeine Leitlinien zur Hilfe bei dieser Auswahl werden in der DIN EN ISO 12001 und der DIN EN ISO 3740 gegeben. Zu den Betriebs- und Aufstellungsbedingungen der zu untersuchenden Geräuschquellen sind in den Normen der Reihe DIN EN ISO 374X allgemeine Grundsätze aufgeführt. Weitere Informationen können den Geräuschmessnormen für spezielle Maschinen oder Geräte entnommen werden.

Nachstehend werden die Bedingungen der DIN EN ISO 3744 bis 3746 erläutert. Im Besonderen ist die notwendige Genauigkeitsklasse von besonderem Interesse.

*	DIN EN ISO 3745 Genauigkeitsklasse 1 Präzisionsmethode	DIN EN ISO 3744 Genauigkeitsklasse 2 Betriebsmessung	DIN EN ISO 3746 Genauigkeitsklasse 3 Übersichtsmethode
Messumgebung	reflexionsarmer Raum**	im Freien oder in Räumen**	
Kriterium für Eignung der Messumgebung	$K_2 \leq 0,5$ dB	$K_2 \leq 2(4)^{***}$ dB	$K_2 \leq 7$ dB
Volumen der Schallquelle	< als 0,5 % des Prüfraumvolumens	keine Beschränkung, nur durch Messumgebung	
Geräuschart	alle Arten, breitbandig, schmalbandig, tonal, nichtstationär, impulshaltig		
Begrenzung des Fremdgeräusches	$\Delta L \geq 10$ dB möglichst mehr als 15 dB $K_1 \leq 0,4$ dB	$\Delta L \geq 6$ dB möglichst mehr als 15 dB $K_1 \leq 1,3$ dB	$\Delta L \geq 3$ dB $K_1 \leq 3$ dB
Anzahl der Messpunkte	≥ 10	≥ 9	≥ 4
Messgeräte: Schallpegelmesser mindestens nach IEC 651, IEC804, Filter IEC 225	Klasse 1 Klasse 1	Klasse 1 Klasse 1	Klasse 2 -----
Präzision des Verfahrens zur Bestimmung von L_{WA} , ausgedrückt als Vergleichsstandabweichung	$\sigma_R \leq 1$ dB	$\sigma_R \leq 1,5$ dB	$\sigma_R \leq 3$ dB für $K_2 < 5$ dB $\sigma_R \leq 4$ dB für $K_2 \geq 5$ dB max 7 dB

*in Anlehnung an Tabelle 0.1 der DIN EN ISO 3744:2009
 ** Messungen über reflektierender Ebene
 ***neu in DIN EN ISO 3744:2010

Abb. 2 - Übersicht einiger Bedingungen zur Festlegung einer Genauigkeitsklasse

Genauigkeitsklassen und Messunsicherheit

Die Freifeldbedingungen der **Genauigkeitsklasse 1** (DIN EN ISO 3745) lassen sich nur in speziellen Messräumen einhalten. Der Aufbau von zu prüfenden Maschinen ist dort meist nur mit großem Aufwand möglich und typische Betriebsbedingungen (Energieversorgung, Materialzufuhr, Last.....) sind schwer nachzubilden. Messungen nach der Genauigkeitsklasse 1 entsprechen der Präzisionsmethode. Die Vergleichsstandardabweichung des Messverfahrens beträgt $\sigma_{R0} \leq 1 \text{ dB}$ (Halbraum & mittlerer Frequenzbereich). Es ist ein Schallpegelmessgerät der Klasse 1 zu verwenden.

Messungen werden häufig nach der **Genauigkeitsklasse 2** (DIN EN ISO 3744) durchgeführt. Diese lässt sich in der Regel am Aufstellungsort der Maschinen erreichen. Besondere Beachtung muss der Einhaltung der maximalen Korrekturen für das Hintergrundgeräusch und der Raumerückwirkung gegeben werden. Diese Art der Messung wird Betriebsmethode genannt und die Vergleichsstandardabweichung beträgt $\sigma_{R0} \leq 1,5 \text{ dB}$. Es ist ein Schallpegelmessgerät der Klasse 1 zu verwenden. Bei Messungen gemäß der Outdoor-Richtlinie sind auf Grund der Größe der Prüflinge oft entsprechende Freiflächen notwendig. Es ist ein Schallpegelmessgerät der Klasse 1 zu verwenden.

Messungen nach der **Genauigkeitsklasse 3** (DIN EN ISO 3746) ergeben sich durch die vorliegenden Messbedingungen. Bei Schalleistungsbestimmungen nach dieser Übersichtsmethode beträgt die Vergleichsstandardabweichung* $\sigma_{R0} \leq 3 \text{ dB}$ bzw. $\leq 4 \text{ dB}$, direkt abhängig von der Korrektur für die Raumerückwirkung. Zur Minimierung der Messunsicherheit ist auch hier vorzugsweise ein Schallpegelmessgerät der Klasse 1 zu verwenden.

Die **Messunsicherheit u** hängt von der Vergleichsstandardabweichung und dem gewünschten Vertrauensbereich ab. Die in Dezibel angegebenen Unsicherheiten $u(LW)$ der Schalleistungspegel, die z.B. nach der DIN EN ISO 3744 ermittelt wurden, werden anhand der in Dezibel angegebenen Gesamtstandardabweichung abgeschätzt: $u(LW) \approx \sigma_{tot}$

Die Standardabweichung σ_{tot} wird aus der **Vergleichsstandardabweichung** des Verfahrens, σ_{R0} (in dB) und der **Standardabweichung** σ_{0mc} (in dB), die die Unsicherheit durch die Instabilität der Betriebs- und Aufstellungsbedingungen der zu untersuchenden Quelle beschreibt, wie folgt gebildet:

$$\sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{R0}^2 + \sigma_{0mc}^2}$$

Liegen keine Erkenntnisse über σ_{0mc} (Instabilität der Betriebs- und Aufstellungsbedingungen) vor, dann werden 2 dB für die Berechnung der erweiterten Messunsicherheit angenommen. Eine Berechnung für die Genauigkeitsklasse 2 sieht dann wie folgt aus:

$$\sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{R0}^2 + \sigma_{0mc}^2} = \sqrt{1,5^2 + 2^2} = 2,5(\text{dB}) \quad (\text{Klasse 2-Messungen})$$

Ausgehend von σ_{tot} ist die **erweiterte Messunsicherheit U** wie folgt zu berechnen:

$$U = k \times \sigma_{tot}$$

Die erweiterte Messunsicherheit U wird mit einem Zuschlag in dB zum Messwert berücksichtigt.

Die erweiterte Unsicherheit hängt von dem gewünschten Grad des Vertrauens ab. Bei einer Normalverteilung der Messwerte besteht ein Vertrauensgrad von 95%. Der wahre Wert bewegt sich im Bereich von $(LW - U)$ und $(LW + U)$. Dies entspricht einem Erweiterungsfaktor von $k = 2$.

Da der Zweck der Ermittlung eines Schalleistungspegels ist, diesen mit einem Grenzwert zu vergleichen, empfiehlt es sich, den Erweiterungsfaktor k von 1,6 mit einem Vertrauensgrad von 95 % für eine einseitige Normalverteilung anzuwenden.

Die erweiterte Messunsicherheit U beträgt dann:

$$U = k \cdot \sigma_{tot} = 1,6 \times 2,5 = 4,0(\text{dB})$$

2. Festlegen einer Messfläche S und der Messpunkte

Zur Vereinfachung bei der Gestaltung der Größe und Form der Messfläche S wird zuerst ein Bezugsquader festgelegt. Ein Bezugsquader ist eine virtuelle Fläche, die die Schallquelle gerade einschließt. Bauteile, die nicht wesentlich zur Schallabstrahlung beitragen, können unberücksichtigt bleiben.

Die Messfläche S ergibt sich dadurch, daß der Bezugsquader im 1 m-Abstand (Mindestabstand 0,25 m) mit einem virtuellen Quader oder einer Halbkugel umschlossen wird. Die Oberfläche (ohne Grundfläche) ist die Messfläche S . Als minimale Messpunktanzahl sind die Messpunkte, wie in Abb. 3 und 4 dargestellt, auszuwählen. Die Anzahl der Messpunkte gilt als genügend, wenn der maximale Unterschied der Schalldruckpegel an den einzelnen Messpunkten kleiner ist, als die Anzahl der Messpunkte (siehe auch DIN EN ISO 3744-2011 - 8.4 Scheinrichtungsmaß und 8.5 Messflächenschalldruckpegel-Scheininhomogenitätsmaß).

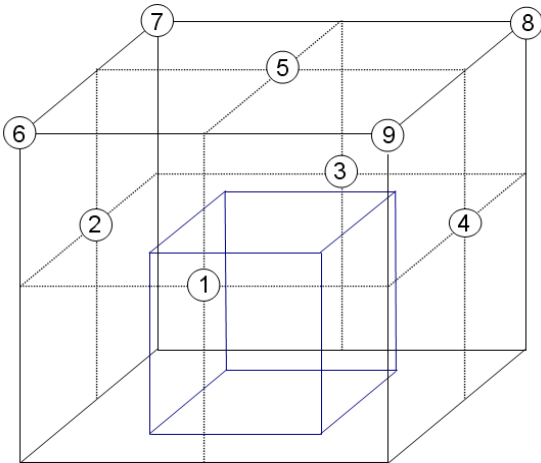


Abb. 3 - Quadermessfläche mit 9 Messpunkten und eingezeichnetem Bezugsquader

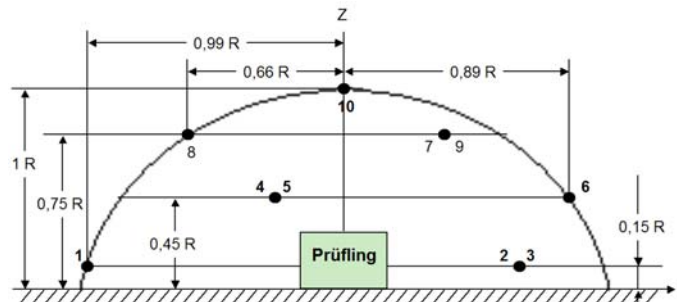


Abb. 4 - Halbkugel-Messfläche, Seitenansicht, hier mit 10 Messpunkten

Die Messpunkte müssen auf gleiche Flächenanteile verteilt werden. Bei der Genauigkeitsklasse 2 sind mindestens 9 (Quader), bzw. 10 Messpunkte (Halbkugel) nötig.

Bei „Outdoor“-Messungen sind meist 6, manchmal 12 Messpunkte auf einer Halbkugel erforderlich. Dies ist der Richtlinie 2000/14/EG und der jeweiligen maschinentypischen Norm zu entnehmen.

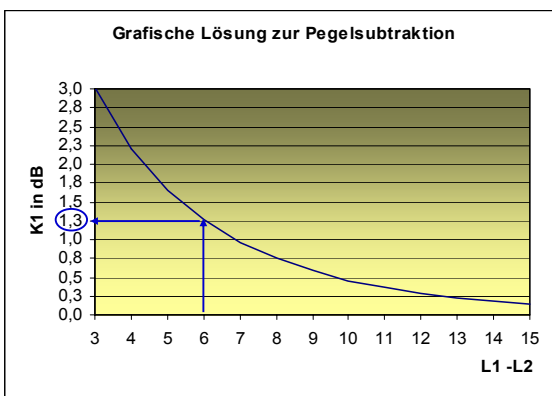
3. Messen und Bestimmen des mittleren Schalldruckpegels $\overline{L_{pA}}$

An den festgelegten Messpunkten werden die einzelnen Schalldruckpegel gemessen. Diese Schalldruckpegel sind energetische gemittelte Schalldruckpegel (L_{Aeq}). Zur Erlangung weiterer Informationen, z.B. für Geräuschminderungsmaßnahmen, empfiehlt es sich einen Schallpegelmesser mit Echtzeit-Terz-/Oktav-Analyse zu benutzen. Die Messzeit sollte ein Mehrfaches länger als der Arbeitszyklus der Maschine sein. Bei modernen Schallpegelmessern kann durch die Start-/ Pause-/ Stop-Funktion ein Gesamtmittelwert (L_{Aeq}) direkt gebildet werden, indem nacheinander die Pegel an allen Messpunkten mit jeweils der gleichen Messzeit erfasst werden. Der am Ende der Messung angezeigte Wert ist der Mittelwert über alle Messpunkte. Bei Einzelmessungen errechnet sich ein Mittelwert wie folgt:

$$\overline{L_{pA}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{10^{0,1L_{pA1}} + 10^{0,1L_{pA2}} + \dots + 10^{0,1L_{pAn}}}{n} \right) (dB)$$

4. Ermitteln der Fremdgeräuschkorrektur K_1

Fremdgeräusche erhöhen scheinbar den Schalldruckpegel einer Maschine. Es muß daher ein Korrekturwert für den Fremdgeräuschanteil ermittelt werden. Zur Ermittlung dieser Fremdgeräuschkorrektur K_1 wird das Gesamtgeräusch einschließlich des Prüflings gemessen. Danach wird der Prüfling abgeschaltet und nur das Fremdgeräusch erfasst. Nach Norm sollten die Fremdgeräuschpegel an den festgelegten Messpunkten gemessen werden. Bei kleinen Geometrien kann das Fremdgeräusch auch an einem zentralen Punkt mittels einer Messung erfasst werden. Mit der Differenz zwischen dem Gesamt- und Fremdgeräusch geht man in das u.s. Diagramm und liest an der Ordinaten den Korrekturwert ab. Bei Betriebsmessungen (Klasse 2) darf diese Korrektur maximal 1,3 dB betragen. Die Fremdgeräuschkorrektur ist frequenzabhängig; für ein Frequenzband (Terz- oder Oktav) lautet die Bezeichnung K_{1f} . Der Index f gibt die betreffende Mittenfrequenz an und bei einer A-Bewertung lautet die Bezeichnung K_{1A} .



Gesamtgeräusch $L_1 = 85,0 \text{ dB(A)}$
 Fremdgeräusch $L_2 = 79,0 \text{ dB(A)}$
 Differenz $L_1 - L_2 = 6,0 \text{ dB}$
 Korrektur (aus Diagramm) $K_1 = 1,3 \text{ dB}$
 Maschinengeräusch ohne Fremdgeräusch
 $= 85 - 1,3 = 84 \text{ (83,7) dB(A)}$

direkte Berechnung: (EXCEL™-Schreibweise)
 $K_1 = 85 - 10 \times \log_{10}(10^{(85/10)} - 10^{(79/10)})$
 $K_1 = 85 - 83,7$
 $K_1 = 1,3 \text{ dB}$

Abb. 5 - Diagramm für eine grafische Pegelsubtraktion

5. Ermitteln der Raumkorrektur K_2

Reflexionen von Schall an den Begrenzungsflächen eines Raumes bewirken eine Pegelerhöhung des abgestrahlten Schalls einer Maschine. Zur Berücksichtigung dieses Einflusses ist eine Korrektur K_2 auf den Mittelwert der Schalldruckpegel über alle Mikrofonpositionen anzuwenden.

Die Raumkorrektur ist frequenzabhängig; für ein Frequenzband (Terz- oder Oktav) lautet die Bezeichnung K_{2f} . Der Index f gibt die betreffende Mittenfrequenz an und bei einer A-Bewertung lautet die Bezeichnung K_{2A} . Eine Messung ist gültig, wenn $K_{2A} \leq 4$ dB ist.

Der Raumkorrekturwert ist nach einem von zwei alternativen Verfahren zu ermitteln:

a. Absolutvergleichsmessung mittels Einsatz einer Vergleichsschallquelle (halbkugelförmige Messfläche)

$$K_2 = L_W - L_{W(RSS)} \text{ (dB)}$$

L_W = Schalleistung der Vergleichsschallquelle, ermittelt in der Messumgebung ohne Korrektur K_2
 $L_{W(RSS)}$ = Kalibrierwerte der Vergleichsschallquelle

Abb. 6 - Brüel & Kjær Vergleichsschallquelle Typ 4204



b. Umgebungskorrektur, ermittelt aus der äquivalenten Absorptionsfläche eines Raumes

Die äquivalente Absorptionsfläche A beschreibt die Schallabsorption in einem Raum. Die Wirkung dieser Absorptionsfläche ist abhängig vom Raumvolumen und der Größe der Messfläche S . Je größer die Messfläche, desto größer ist die Umgebungskorrektur K_2 bei gleichen Raumeigenschaften.

$$K_2 = 10 \lg \left[1 + 4 \frac{S}{A} \right] \text{ dB}$$

K_2 = Raumkorrekturwert in dB
 S = Messfläche in qm
 A = äquivalente Absorptionsfläche in m^2
 $A = 0,16 \frac{V}{T}$ oder weitere Methoden
 V = Volumen des Messraumes
 T = Nachhallzeit im Messraum in s

Die äquivalente Absorptionsfläche A kann durch nachstehend beschriebene Methoden bestimmt werden.

Nachhallzeitmethode

Die äquivalente Absorptionsfläche A kann durch Messung der Nachhallzeit ermittelt werden. Bei dieser Methode wird der Raum durch ein breitbandiges Rauschen über eine Aktivlautsprecherbox oder durch Impulsanregung (Knall) akustisch angeregt. Die Zeit, die der Pegel benötigt um 60 dB abzufallen, ist die Nachhallzeit. Dieses Messverfahren ist geeignet für Messräume, deren Länge und Breite jeweils kleiner als das Dreifache der Deckenhöhe sind und nicht anwendbar in reflexionsarmen Räumen. Reflexionsarme Räume haben sehr kurze Nachhallzeiten und damit geht K_2 in diesen Räumen gegen 0 dB. Zur Bestimmung von K_{2A} wird empfohlen, die im Frequenzband 1 kHz gemessene Nachhallzeit zu verwenden.

$$\bar{A} = 0,16 \frac{V}{T_n}$$

V = Volumen des Messraumes
 T_n = Nachhallzeit im Messraum in s

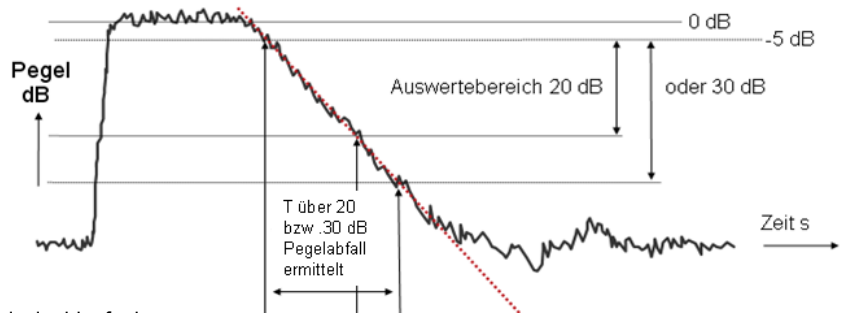


Abb. 7 - Prinzipablauf einer Nachhallzeitmessung

Ermitteln der Absorptionsfläche A mittels Näherungsverfahren

Dieses Verfahren ist geeignet für Messräume, deren Länge und Breite jeweils kleiner als das Dreifache der Deckenhöhe sind. Es wird die gesamte Raumbofläche S_v berechnet und mit einem Absorptionsgrad α aus der Abb. 8 multipliziert. Zur Erhöhung der Genauigkeit kann die gesamte Oberfläche des Messraumes S_v in Teilflächen zerlegt und mit dem jeweiligen mittleren Absorptionsgrad multipliziert werden. Die Addition dieser Teilflächen mit dem jeweiligen Absorptionsgrad multipliziert ergibt die Gesamtabsorptionsfläche A des Raumes.

Mittlerer Schallabsorptionsgrad α	Beschreibung des Raumes
0,05	Nahezu leerer Raum mit glatten, harten Wänden aus Putz oder Kacheln
0,1	Teilweise leerer Raum: Raum mit glatten Wänden
0,15	Möblierter Raum; rechteckiger Maschinenraum; rechteckiger Gewerberaum
0,2	Unregelmäßig geschnittener Raum mit Möbeln; Maschinen- oder Gewerberaum
0,25	Raum mit Polstermöbeln: Maschinen- oder Gewerberaum (Mengen schallschluckender Materialien an den Wänden teilweise absorbierende Decke)
0,35	Raum mit schallschluckenden Materialien sowohl an den Wänden
0,5	Raum mit großen Mengen schallschluckender Materialien an den Wänden

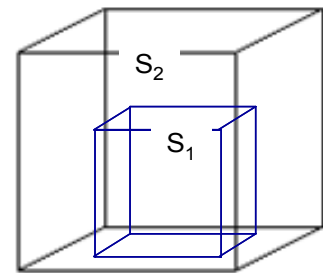
Abb. 8 – Schallabsorptionsgrade verschiedener Räume, Tabelle aus DIN EN ISO 3744:2011-02

Erweitertes Näherungsverfahren			
$A = \alpha \times Sv$		Länge:	4 m
		Breite:	4 m
		Höhe:	12 m
		Raumoberfläche:	224 qm
Oberflächen	Sv	α	A
Decke	16,0 qm	0,5	8,0 qm
Boden	16,0 qm	0,1	1,6 qm
Seite links	48,0 qm	0,3	14,4 qm
Seite rechts	48,0 qm	0,3	14,4 qm
Seite hinten	48,0 qm	0,2	9,6 qm
Seite vorn	48,0 qm	0,2	9,6 qm

Abb. 9 – Schallabsorptionsfläche A aus Teilflächen berechnet

Zweiflächenmethode

Bei dieser Methode werden zwei Messflächen festgelegt. Die erste Fläche S_1 wird, wie vorab (S. 3) beschrieben, festgelegt. Die zweite Fläche S_2 folgt geometrisch der ersten Fläche und sollte möglichst Faktor 4 (mindestens 2 x) größer sein. Die Fremdgeräuschkriterien müssen auf beiden Flächen erfüllt sein. Die ermittelte Raumkorrektur K_2 darf 2 dB nicht überschreiten. Die vom Hintergrundgeräusch bereinigten mittleren Schalldruckpegel L_{p1} und L_{p2} werden auf den Flächen ermittelt und zusammen mit den Flächenangaben in die nachstehenden Formeln eingetragen; daraus wird der K_2 berechnet. Im folgenden Beispiel (Fläche vervierfacht) wurde eine Pegelminderung von 6 dB ermittelt und damit ergibt sich ein K_2 von 0 dB.



1. Flächenberechnung			
Bezugsquader	Fläche S 1	Fläche S 2	S2/S1 ≥4
Länge: 1,00 m	16,0 qm	64,6 qm	4,0
Breite: 1,00 m			
Höhe: 1,00 m			
Messabstand 1: 0,50 m			
Messabstand 2: 1,66 m			
2. Berechnung			
$\frac{A}{S_1} = \frac{4(M-1)}{1-M S_1/S_2}$	$M = 10^{0,1(L_{p1} - L_{p2})}$		
A/S1= 826,59	Lp1: 80 Lp2: 74	M= 3,98107171	
2. K2-Berechnung			
$K_2 = 10 \lg \left[1 + 4 \frac{S}{A} \right]$ dB			0,0 dB
K2 =	0,0 dB		

Bedingungen:

- Das Verhältnis S_2/S_1 darf nicht kleiner als 2 und sollte möglichst größer als 4 sein
- $K_2 \leq 2$ dB
- Schalldruckpegel auf beiden Messflächen sind vom Hintergrundpegel bereinigt

Abb. 10 – Beispiel zur Zweiflächenmethode

6. Ergebnisdarstellung

$$L_{WA} = \overline{L_{pA}} + 10 \lg S/S_0 - K_1 - K_2 \text{ (dB)}$$

$$L_{WA} = 82,8 \text{ dB} + 15,2 \text{ dB} - 1,3 \text{ dB} - 2 \text{ dB}$$

$$L_{WA} = 95 \text{ dB} \text{ (gerundeter Wert)}$$

$$L_{pCpeak} = \text{entfällt, da } < 130 \text{ dB}$$

$$L_{pA} (1m) = L_{WA} - Q \text{ (Berechnung nach DIN EN 11 203)}$$

$$L_{pA} (1m) = 94,7 \text{ dB} - 15,2 \text{ dB}$$

$$L_{pA} (1m) = 80 \text{ dB} \text{ (gerundeter Wert)}$$

Schalleistungspegel $L_{WAd}^* = 95 \text{ dB} + 4 \text{ dB}^{**}$
 arbeitsplatzbezogener Emissionswert $L_{pAd}^* = 80 \text{ dB} + 4 \text{ dB}^{**}$

* Ein „d“ (für declared) im Index der Geräuschemissionswerte sagt aus, dass der Hersteller versichert, dass dieser Wert durch den bei der Nachmessung sicher nicht überschritten wird. Es handelt sich somit um einen zugesicherten oberen Wert.
 ** Messunsicherheit U – siehe Seite 3

Messtechnik und Dokumentation

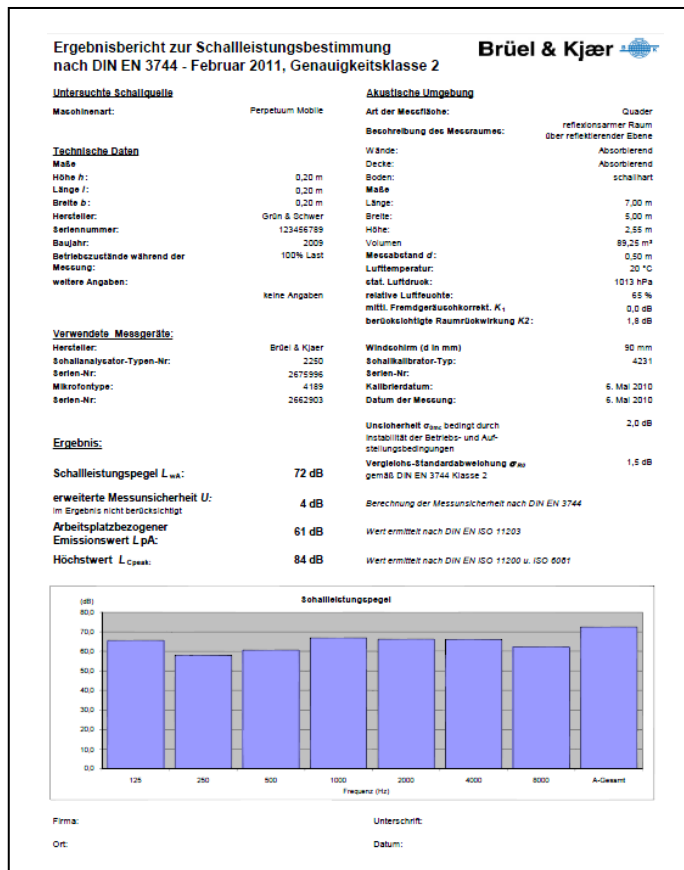
Die Messtechnik zur Schalleistungsbestimmung sollte ein Klasse 1-Schallanalysator, möglichst mit Terz-/Oktavfiltern, entsprechenden PC-Software zur Dokumentation der Messergebnisse und einer PC-Schnittstelle sein. Darüber hinaus sollte das Gerät ein geringes Gewicht haben, leicht zu bedienen sein und die Messdaten übersichtlich speichern können.

Bei Brüel & Kjær Analysatoren können Messergebnisse direkt mittels einer zum Lieferumfang gehörende PC-Software in vorgefertigte „EXCEL™-Vorlagen“ übertragen, dort mit Hilfe einer Eingabeliste die nötigen Angaben vervollständigt und dann direkt als Ergebnisbericht (Abb. 12) darstellt werden.

Die Dokumentation umfasst u.a. die Schallleistung, den arbeitsplatzbezogenen Emissionswert L_{pA} , den Höchstwert des C-bewerteten Schalldruckpegels L_{pCPeak} und weitere Informationen zur Messung.

Brüel & Kjær stellt diese Vorlagen seinen Kunden zur Verfügung. Die Vorlagen können vom Kunden selbst den individuellen Bedürfnissen angepasst werden.

Abb. 12 – Ergebnisdokumentation zu einer Schalleistungsmessung



Brüel & Kjær Schallanalysatoren



Die Schallanalysatoren 2250L/2250/2270 sind die vierte Generation handgehaltener Messgeräte von Brüel & Kjær. Diese sind für den Einsatz im Labor und im Freien und unter schwierigen Umgebungsbedingungen vorgesehen und daher robust, leicht und ergonomisch gestaltet. Die Analysatoren sind modulare Geräte, die durch optionale Software-Module an weitere Messaufgaben angepasst werden können.

Brüel & Kjær Mitarbeiter helfen Ihnen gerne bei der Auswahl des richtigen Gerätes. <http://www.bruelkjaer.de>

Anwendungen/Eigenschaften

(abhängig vom Gerätetyp und jeweiliger Ausstattung)

- **bauartgeprüft und eichfähig**
- Schallanalysator, Messung aller Lärmparameter für Arbeits- und Umweltschutz, Qualitätskontrolle (z.B. Schalleistungsbestimmung) und Entwicklung
- direkter Anschluss von Beschleunigungsaufnehmern, dadurch ist ein Einsatz auch als Schwingungsanalysator möglich
- Audiokommentaraufzeichnung
- Notepad zur Kommentierung
- modulare Geräte
- Echtzeitfrequenzanalyse von 6,3 Hz bis 20 KHz (Terz/Oktav)
- FFT-Analyse
- Nachhallzeitmessung
- Pegelschreiberfunktion (auch für Terz-/ Oktavanalyse)
- hochwertige Audiosignalaufzeichnung (WAV) des Messsignals für weitere Untersuchungen
- umfangreiche Marker-Eigenschaften
- Dynamikbereich >120 dB, Messbereich <20 bis >140 dB(A)
- für Präsentationen/Schulungen ist die Bedienung des Gerätes und die Darstellung der Messungen auch via PC-Beamer online möglich
- Touchscreen-Bedienung
- Bedienung erlernbar in 10 Minuten
- Farbdisplay
- Datenspeicher (CF- und SD-Karten) bis zu 32 GB
- USB-/LAN-Schnittstelle
- Lithium-Ionenbatterie (8 – 12 Std. Betriebszeit)

Der Lieferumfang umfasst notwendiges Zubehör, wie Mikrophon, Tasche/Rucksack, Netz-Ladegerät, Akku, Stativadapter und PC-Software für die Datenübertragung. Weiteres Zubehör ist lieferbar.

Zu jedem Gerät stehen ausführliche Beschreibungen zur Verfügung:

<http://www.bruelkjaer.de/Products/SoundLevelMeters/SoundLevelMeters-Advanced.aspx>

Schallintensität

Eine Messmethode für akustisch ungünstige Situationen

Die Bestimmung der Schalleistung einer Maschine mittels der Schalldruckmethode liefert in der Praxis oft aus nachstehend aufgeführten Gründen unzuverlässige Ergebnisse.

Geometrie einer Maschine

Große Maschinen grenzen an Decken und Wände; es gibt akustisch aktive und passive Bauteile; Absperrgitter zur Sicherung angebracht, sind Teil der Maschine; Versorgungsleitungen strahlen hohe Fremdgeräuschpegel ab; es lassen sich keine einfachen Geometrien als Messflächen konstruieren; das Verhältnis Volumen der Maschine zum Raumvolumen ist ungünstig; usw.

Aufstellungsort einer Maschine

In vielen Fällen werden die Abnahmemessungen von Maschinen am endgültigen Standort durchgeführt. Die gemessenen Schalldruckpegel sind durch Direktreflexionen (Maschine direkt vor einer Wand, in einer Ecke oder dicht bei benachbarten Maschinen aufgestellt) höher und die Gefahr einer Reklamation ist gegeben. Eine Korrektur kann auf Grund der gegebenen Situation nicht sicher ermittelt werden.

Fremdgeräuschpegel sind zu hoch

Am Abnahmeort ist der Fremdgeräuschpegel oft höher als der, der zu prüfenden Maschine. Die in Produktion stehenden Nachbarmaschinen können aus wirtschaftlichen Gründen nicht abgeschaltet werden. Eine Hintergrundgeräuschkorrektur K_1 kann nicht ermittelt werden oder diese ist viel zu hoch.

Raumrückwirkungen sind zu hoch (hohe Nachhallzeiten, reflektierende Flächen in Maschinenähe)

Bei großen Nachhallzeiten und oder reflektierenden Flächen in der Nähe des Prüflings ist die ermittelte Raumkorrektur K_2 zu hoch oder nicht sicher zu bestimmen und die angestrebte Genauigkeitsklasse wird nicht erreicht.

Bestimmung von Teilleistungen kombinierter Maschinen

In vielen Fällen, beispielsweise bei Pumpen und Getrieben, kann eine Prüfung nur gemeinsam mit Antriebsmotor und entsprechender Last erfolgen. Die Schalleistung sollte aber nur für den Prüfling angegeben werden und diese ist nur durch die Schallintensitätsmethode ermittelbar.

Hohe Messunsicherheit im Ergebnis

Die hier beschriebenen Schwierigkeiten bewirken, dass die angestrebte Genauigkeitsklasse 2 nicht erreicht werden kann. Die Vergleichsstandardabweichungen in der Genauigkeitsklasse 3 verlangen einen typischen Zuschlag für die erweiterte Messunsicherheit U von 6 bis 7 dB.

Falls eine Messung überhaupt möglich ist, wird der anzugebende Schalleistungspegel größer, als bei einem Messverfahren der Klasse 2. Dies bedeutet einen gravierenden Wettbewerbsnachteil.

Ist keine Abhilfe möglich oder der wirtschaftliche Aufwand für den Messaufbau oder einen Messraum nicht gerechtfertigt, dann lässt sich die Ermittlung der benötigten akustischen Parameter nur noch mittels der nachfolgend beschriebenen Schallintensitätsmethode durchführen.

Die Schallintensitätsmethode

Bereits in der Einleitung zur DIN EN ISO 3744:2011 - *Bestimmung der Schalleistungs- und der Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen* – wird darauf hingewiesen, dass bei starkem Hintergrundlärm und hohen Raumrückwirkungen eine Messung mit hinreichender Genauigkeit nicht möglich ist und stattdessen eine Norm aus der Reihe DIN EN ISO 9614 - *Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen* – heranzuziehen ist.

Ein Schallintensitätsmess-System, basierend auf der 2-Mikrofon-Messsonde, ist genormt nach DIN EN 61043 - *Geräte für die Messung der Schallintensität; Messung mit Paaren von Druckmikrofonen*.

Eine Schallintensitätsmessausrüstung ermittelt zusätzlich zum Pegel die Richtungsinformation des Schallflusses. Durch die vorzeichenrichtige Messung über die gesamte Messfläche wird das Messergebnis von Hintergrundlärm und Raumrückwirkung bereinigt.

Es lassen sich damit problemlos Teilschallquellen, z.B. Getriebe und weitere Geräuschquellen von Last oder Antrieb separieren und Schalleistungsmessungen auch in akustisch ungünstiger Umgebung durchführen.



Abb. 12 - Brüel & Kjær Schallintensitäts-Mess-System 2270G mit 2-Mikrofon-Sonde

Wie funktioniert Schallintensität?

Bei **Schalldruckmessungen** wird auf dem Display eines Schallpegelmessers eine **skalare Größe** in Dezibel angezeigt. Man erhält keine Information über die Richtung der Schallausbreitung. Es ist nur mit speziellen Maßnahmen möglich, zwischen dem zu erfassenden Maschinenlärm, dem Hintergrundlärm und den Pegelerhöhungen durch Raumrückwirkungen zu unterscheiden.

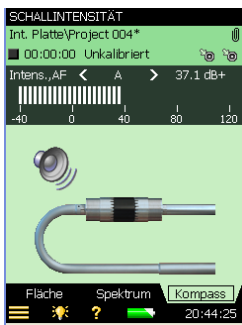


Abb. 13 - Darstellung der Richtcharakteristik einer Intensitätssonde

Schallintensitäts-Mess-Systeme dagegen verwenden Doppelmikrofone und diese erlauben in Verbindung mit der geeigneten Hard- und Software **vektorielle Messungen**. Zusätzlich zum Betrag wird ein Vorzeichen (+ oder -) angezeigt.

Ein **Plus** bedeutet **Schalleinfall von vorn**, ein **Minus** bedeutet **Schalleinfall von hinten** (jeweils bezogen auf die Intensitätssonde).

Bei seitlichem Schalleinfall (90° bezogen auf die Sondenachse) geht die Anzeige auf kleine Werte zurück und das Vorzeichen wechselt zwischen + und -. Wie in der Nachrichtentechnik üblich, wird dieser Effekt für die Schallquellenortung (Ortung auf Minimum, Kompassfunktion) benutzt.

In der Kompass-Anzeige des **Schallanalysators 2270** weist ein Lautsprecher-Symbols auf Schalleinfall vorne oder hinten hin (siehe Abb. 13 – Schalleinfall von vorne). Typische Anwendungen der „Kompassfunktion“ sind Schallquellenortungen an Maschinen, Auffinden von akustischen Leckagen bei Maschinenkapselungen und in der Bauakustik das Auffinden fehlerhafter Türdichtungen und von Flankenübertragungen in Gebäuden.

Schalleistungsmessung und Ausschließen von Raumrückwirkungen und Fremdschall

Neben der Schallquellenortung bietet das Verfahren der Intensitätsmessung den Vorteil, alle nicht zum Maschinenlärm gehörenden Schallanteile auszuschließen und die akustische Wirkleistung direkt zu messen und anzuzeigen. Dazu wird die Intensitätssonde senkrecht zur gedachten Messfläche geführt. Bezogen auf die Intensitätssonde wird der Maschinenlärm dadurch immer von vorne und damit positiv erfasst (Abb. 14). Sämtliche Fremdgeräusche, wie z. B. Hintergrundlärm oder Raumrückwirkungen, werden immer mit negativem Vorzeichen in die Messfläche eindringen und diese mit positivem Vorzeichen wieder verlassen (Annahme: keine oder nur unwesentliche Absorption innerhalb der Hüllfläche). Alle Pegelwerte werden über die Hüllfläche vorzeichenrichtig integriert. Nach dem Beenden der Messung wird nur der in der Maschinen-Hüllfläche entstandene Schallintensitätspegel als positiver Wert angezeigt.

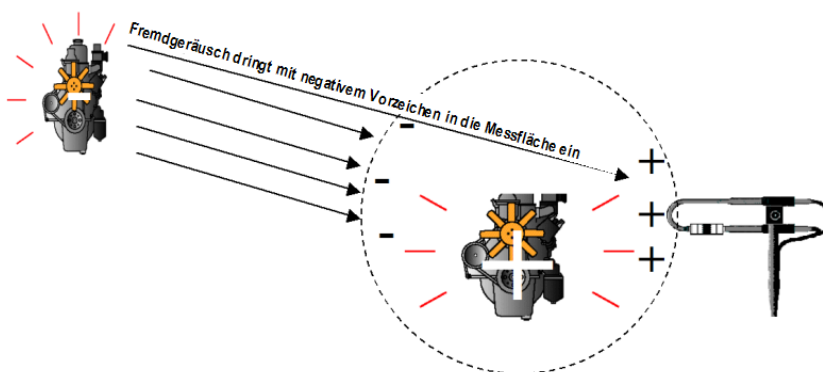


Abb. 14 - Darstellung der Fremdschallunterdrückung durch vorzeichenrichtige Erfassung und Mittelung aller Schallintensitätswerte auf der Messfläche. Fremdgeräusche dringen mit negativem Vorzeichen in die Messfläche ein und verlassen diese mit positivem Vorzeichen.

Anschließend wird der gemessene mittlere Intensitätspegel auf die Größe der Messfläche bezogen. Die Schalleistung ergibt sich dann wie folgt:

$$L_{WA} = \overline{L_{IA}} + 10 \lg \frac{S}{S_0} - \cancel{K_1} - \cancel{K_2} \text{ (dB)}$$

$$\begin{aligned} S_0 &= 1 \text{ m}^2 \\ S &= \text{Messfläche in m}^2 \\ \overline{L_{IA}} &= \text{mittlere Schallintensität auf der Messfläche} \\ K_1 \text{ u. } K_2 &\text{ entfallen} \end{aligned}$$

Zur Verdeutlichung des Unterschiedes zur Schalldruckmethode wird in der obigen Formel gezeigt, dass die Bestimmung der Korrekturwerte für das Hintergrundgeräusch K_1 und die Raumrückwirkung K_2 nicht notwendig ist. Dies bedeutet eine enorme Zeitersparnis und eine sichere und genaue Bestimmung der Schalleistung unter akustisch ungünstigen Bedingungen. Der Schalleistungspegel basiert auf der Messung von Intensitätspegeln in Terzen oder Oktaven und der anschließenden Berechnung des Gesamtpegels L_{IA} .

Messung partieller Schalleistungen

Schallintensitätsmessungen sind Wirkleistungsmessungen. Das Messprinzip der Schallintensität erlaubt Messungen im Nahfeld einer Schallquelle. Eine Nahfeldmessung verbessert den akustischen Störabstand zum Hintergrundgeräusch. Die Schalleistung eines Maschinenteils wird damit ohne Umwege direkt bestimmt. Bei Nahfeldmessungen an Getrieben wird auf diese Weise die akustische Trennung von Last und Antrieb vorgenommen. Maschinenteile wie Lufterin-/auslässe, Hydraulikaggregate, Pumpen, Rohrleitungen, usw. sind getrennt von Zusatzagregaten messbar. Die Schalleistungen einzelner Komponenten lassen sich direkt miteinander vergleichen. Die einfache Ursachenanalyse und das Austauschen des verwendeten Typs gegen eine lärmarme Ausführung führt schnell zu beeindruckenden Lärmreduzierungen.

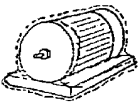


Abb. 15 - Nahfeldmessung – oberflächenkonform
Zur Verbesserung des Störabstandes und oder für eine partielle Schalleistungsmessung

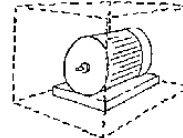


Abb. 16 - Typische Normmessfläche zur Bestimmung einer Schalleistung

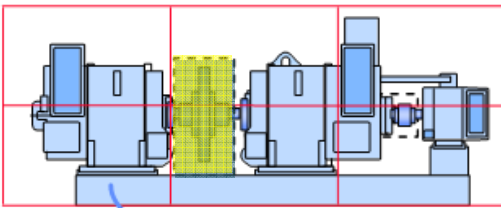
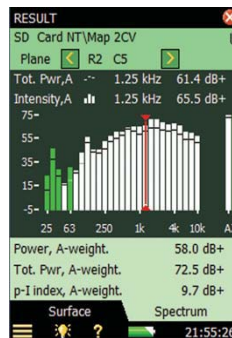


Abb. 17 - Skizze einer Teilschalleistungsmessung an einem Getriebe und Ergebnisdarstellung



Im diesem Beispiel (Abb.17) wird die Schalleistung der Kupplung einer Maschine durch eine Nahfeldmessung ermittelt. Die Grenzen für Nahfeldmessungen sind in der Regel nur durch die Geometrie der Mikrofonsonde gegeben. Diese muß bei beengter Umgebung (z.B. zwischen Motor und Kupplung) noch senkrecht zur Messfläche geführt werden können und die zugehörige Messfläche sollte komplett das zu prüfende Maschinenteil umschließen.

Auch in der Bauakustik lassen sich durch getrennte Betrachtung von Bauteilen (Decken, Fenster, Wänden, Türen, Dichtungen) Flankenübertragungen und andere akustische Schwachstellen in Häusern und Wohnungen leicht erkennen. Dazu betrachtet man getrennt die abgestrahlte Schalleistung der einzelnen Flächen und vergleicht diese miteinander. Ebenso lassen sich partielle Schalldämmungen ermitteln.

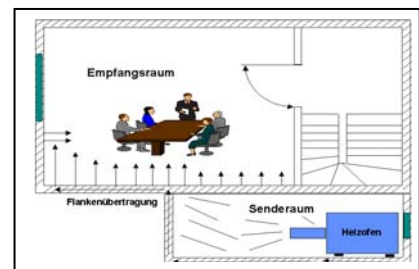


Abb. 18 - Beispiel für Flankenübertragungen in Gebäuden, z. B. durch Körperschallanregung

Praktische Durchführung einer Schalleistungsbestimmung und Gültigkeit der Messung

Der bereits im ersten Teil dieses Artikels beschriebene Messablauf zur Bestimmung der Schalleistung einer Maschine durch die Schalldruckmethode gilt auch für eine Schallintensitätsmessung. Hierbei entfällt aber die Bestimmung der Korrekturen K_1 und K_2 und statt des mittleren Schalldruckpegels L_{pA} wird der mittlere Intensitätspegel L_{IA} ermittelt. In der Praxis wird zur Messung die Scanningmethode angewandt. Dazu wird die SI-Sonde senkrecht zur Messfläche geführt und die jeweilige Messfläche mäanderförmig abgetastet. Zur Prüfung der Wiederholbarkeit wird dies einmal horizontal und einmal vertikal durchgeführt.

Zur **Gültigkeit** einer **Schallintensitätsmessung** sind spezielle Prüfungen gemäß der **DIN EN ISO 9614-2** zu beachten. Die Prüfungen umfassen die folgenden drei Punkte:

1. Gerätedynamik besser als die Felddynamik

$$L_D > F_{PI}$$

Diese Prüfung stellt fest, ob die technischen Eigenschaften des Schallanalysators unter hohem Scheinleistungsanteil noch kleine Wirkleistungen richtig zu messen, möglich sind. Dazu wird die Reaktivität des Schallfeldes F_{PI} ($L_p - L_I$) mit der Gerätedynamik L_D verglichen.

2. Begrenzung der negativen Teileistung

$$F_{+/-} \leq 3 \text{ dB} / 10 \text{ dB (KI 2/ KI 3)}$$

Prüfung zur Limitierung der Fremdschallanteile des Schallfeldes und Bestimmung der Genauigkeitsklasse der Messung

Addition der Teileistungen (ohne Vorzeichenbeachtung)
Addition der Teileistungen (mit Vorzeichenbeachtung)

3. Überprüfung der Teileistungswiederholbarkeit

$$L_{wI}(1) - L_{wI}(2) \leq s \text{ (KI 2)}$$

Prüfung der Wiederholbarkeit der Messung

$s = \text{Standardabweichung je nach Frequenzband } 1,5 \text{ bis } 3 \text{ dB}$

Ablauf einer Schalleistungs-Messung mit dem Schallintensitätsanalysator 2270

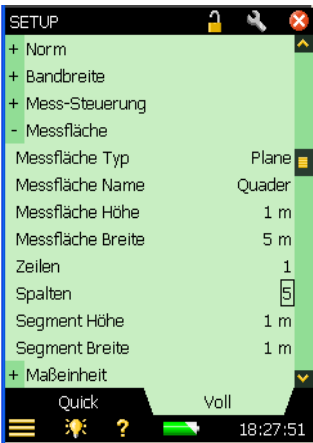


Abb. 19 Darstellung zum Messflächen-Setup

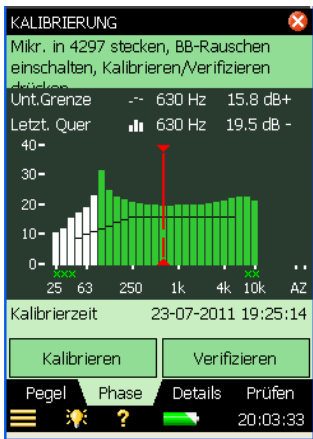


Abb. 20 Anzeige der Gerätedynamik

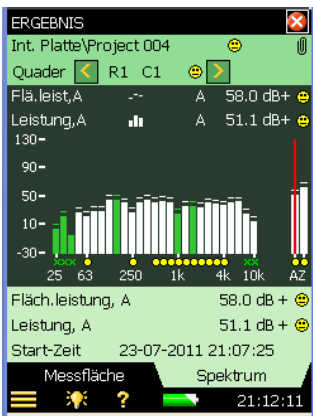


Abb. 21 Ergebnisdarstellung-Spektrum

1. Geräteeinstellungen

Im Setup des 2270 werden die benötigten Messeinstellungen angewählt. Das sind neben der Schallintensitätssonde auch Angaben zur Genauigkeitsklasse der Messung, Bandbreite (Terz- oder Oktavband, Terz für Klasse 2) und Mess-Steuerung (Messzeit, die Messnorm DIN EN ISO 9614-2 verlangt eine Mindestmesszeit von 20 s je Teilfläche). Zusätzlich kann hier die Art der Messfläche, in der Abb.19 ist ein Beispiel für einen Quader mit der Kantenlänge 1 m dargestellt, eingegeben werden.

2. Kalibrierung

Die Kalibrierung einer Schallintensitätsmessausrüstung wird wie bei einem Schallpegelmesser durchgeführt. Dazu bietet der 2270 mit Hilfe eines Adapters die Schalldruckkalibrierung der beiden Messkanäle nacheinander zu kalibrieren und den Schallkalibrator 4231 zu verwenden. Alternativ kann der Schallintensitätskalibrator 4297 bei zeitgleicher Kalibrierung beider Messkanäle benutzt werden. Zusätzlich lässt sich mit diesem Kalibrator eine Phasenkalibrierung durchführen. Die Ergebnisse (Abb. 20) dieser Phasenkalibrierung beschreiben die nach Norm geforderte Gerätedynamik L_D . Die „unt.Grenze“ (630 Hz, 15,8 dB) beschreibt die Mindestanforderung nach DIN EN 61043 und die Anzeige „Letzt.Quer“ zeigt das Ergebnis der letzten Phasenkalibrierung (630 Hz, 19,5 dB) (verwendetes Abstandstück von 12 mm).

3. Messung

Für die Messung können zwei Darstellungen gewählt werden, die Spektrum- oder die Flächendarstellung. Nach dem Starten der Messung wird die 1. Fläche - R1 C1 - mit der Intensitätssonde mäanderförmig senkrecht zur Messfläche abgetastet. Die Messung wird automatisch abgespeichert. Mit dem erneuten Starten der Messung springt die Anzeige für die Messung auf - R1 C2 -, usw.

4. Ergebnisdarstellung

Nachdem alle fünf Flächen gemessen wurden, kann durch Anwählen das Ergebnis (Abb. 21 u. Abb. 22) angezeigt werden. „Fläch.Leist,A“ zeigt Ihnen die Gesamtleistung an; „Leistung,A“ zeigt die Leistung der Fläche R1 C1 an. Sollte die Prüfung der Gültigkeit der Messungen nicht erfüllt sein, wird dies durch „Smileys“ an entsprechenden Stellen markiert. Durch „Anticken“ der Smileys wird die notwendige Erklärung zum Ergebnis der Prüfung gegeben.

Der Schallanalysator 2270 beinhaltet eine eingebaute Kamera. Dies ermöglicht auch eine Ergebnisdarstellung wie in Abb. 23 gezeigt.

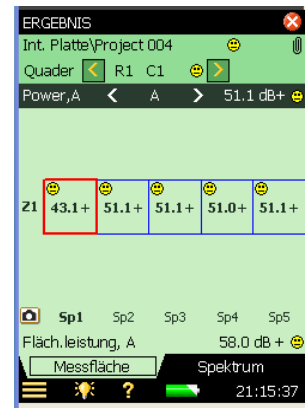


Abb. 22 Ergebnisdarstellung-Flächen

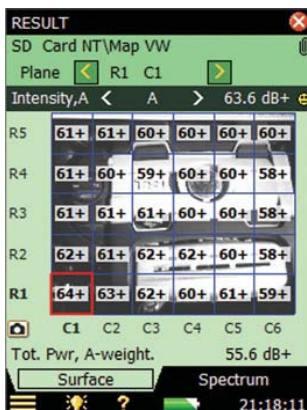


Abb. 23 Ergebnisdarstellung-mit hinterlegtem Bild

Dokumentation der Ergebnisse

Der Lieferumfang einer Brüel & Kjær Schall-Intensitäts-Messausrüstung umfasst neben der Hardware auch eine PC-Software mit der u. a. auch die Messergebnisse direkt in vorgefertigte „EXCEL™-Vorlagen“ übertragen, dort mit Hilfe einer Eingabeliste die nötigen Angaben vervollständigt und dann direkt als Ergebnisbericht (Abb. 24) darstellt werden.

Diese Vorlagen sind Mustervorlagen und können vom Anwender leicht den jeweiligen Anforderungen angepasst werden.

Schalleistungsbestimmung & Schallquellenortung mit Schallanalysator 2270

Das handgehaltene Schallintensitäts-System 2270 besteht aus der Schallintensitäts-Mess-Sonde 3654 und dem Schallanalysator 2270G.

Das System wird in einem Haltschalenkoffer geliefert und ist um weitere Komponenten wie z.B. dem Schallintensitätskalibrator 4297 erweiterbar. Die einzigartige Brüel & Kjær-Bedienphilosophie, die es selbst Neueinsteigern ermöglicht, die Messausrüstung innerhalb kürzester Zeit effizient zu benutzen, wurde bei der Entwicklung des Gerätes auch hier konsequent weitergeführt.



Besonderheiten

- Modularer Aufbau, Basis-Schallanalyse und optional Echtzeit-Frequenzanalyse, Protokollierung, Audioaufzeichnung, FFT-Analyse und Schallintensitätsmessungen.
- Eingebaute Kamera für eine Lärmkartierung und Visualisierung der Messobjekte
- Zusätzliches, eingebautes Mikrofon zum Aufsprechen von Kommentaren
- Notepad für schriftliche Kommentare
- Große Messbereichsdynamik (Messbereich <20 dB bis >140 dB(A))
- Schwingungsmessung mit zusätzlichem Sensor
- Schallintensitätsmessung mit direkter Anzeige der ermittelten Werte
- Messdatenspeicherung mit SD- u. CF- Memorykarten (bis zu 32 GB)
- LAN- und USB-Schnittstelle
- Online-Bedienung u. Großdarstellung des Displays über USB direkt am PC (insbesondere dadurch für Schulungen und Präsentationen gut geeignet)
- Großes, kontrastreiches Farbdisplay, Touchscreenbedienung
- Leichte Bedienbarkeit/deutsche Bedienoberflächen
- Lithium-Ionen Akkupack (8-10 Std.)/Netzbetrieb
- Direkte Dokumentation von Messergebnissen in z. B. EXCEL™-Vorlagen

Verwendete Literatur:

1. Techn. Dokumentation Brüel & Kjær 2270G BP2345-11
2. Techn. Dokumentation Brüel & Kjær 2654 BP2324-11
3. Schallintensität, Brüel & Kjær - Naerum - BR 0523-12
4. DIN EN ISO 9614 Teil 1 Dez. 1996 / SI-Messung Kl. 1
5. DIN EN ISO 9614 Teil 2, Dez. 1996 / SI-Messung Kl. 2
6. DIN EN ISO 9614 Teil 3, Dez. 1996 / SI-Messung Kl. 1
7. DIN EN ISO 3744:2011, Schalleistungsbestimmung Kl. 2
7. DIN EN 61672 – Schallpegelmessung

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


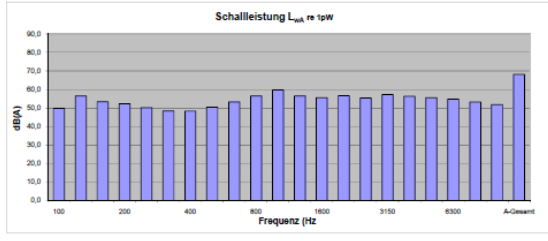
Haftungshinweis: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle können wir keine Haftung für die Inhalte übernehmen.

Willi Nickel

willi.nickel@bksv.com

im August 2011

Brüel & Kjær GmbH • Linzer Str. 3 • D-28359 Bremen • Tel: +49 (0)421 17 87-0 • Fax: +49 (0)421 / 17 87-100
Geschäftsführung: Arne Rasmussen, Hans-Joachim Stadler • Amtsgericht Bremen: HRB 2109
USt-IdNr.: DE 813077652 • WEEE-Rg-Nr. DE 81194475 • www.bksv.com

Ergebnisbericht zur Schalleistungsbestimmung nach DIN EN ISO 9614-2, Genauigkeitsklasse 2		Brüel & Kjær 	
Untersuchte Schallquelle		Akustische Umgebung	
Maschinenart:	Muster-Maschine	Art der Messfläche:	Quader
		Beschreibung des Messraumes:	reflexionsarmer Raum Über reflektierendem Absorbierendem Absorbierendem schallhart
Technische Daten			
Masse des Prüflings:		Wände:	5,00 m
Höhe h:	0,15 m	Decke:	4,90 m
Länge l:	0,15 m	Masse:	2,55 m
Breite b:	0,10 m	Länge:	62,48 m ³
Hersteller:	Firmenname	Breite:	0,55 m
Seriennummer:	123456789	Höhe:	20 °C
Benutzer:	2009	Volumen:	1013 m ³
Betriebszustände während der Messung:		Messabstand d:	0,55 m
weitere Angaben:		Lufttemperatur:	20 °C
		stat. Luftdruck:	1013 hPa
		relative Luftfeuchte:	65 %
		Reaktivität des Schallfeldes (gesamt)	3,6 dB
		(L _{eq} - L _{sd})	
Verwendete Messgeräte:			
Hersteller:	Brüel & Kjær	Windschirm, elliptisch (d)	90 mm
Schallanalysator-Typen-Nr.:	2270	Schallkalibrator-Typ:	4231/4297
Serien-Nr.:	270509	Serien-Nr.:	
Mikrofontyp:	4157	Kalibrierdatum:	7. Juli 2011
Serien-Nr.:	1900521	Datum der Messung:	7. Juli 2011
Mikrofonabstandstück:	12 mm		
Ergebnis:			
Schalleistungspegel L _{sd} :	68 dB	Vergleichsabweichung nach DIN EN ISO 9614-2, Genauigkeitsklasse 2 = $\sigma_{\text{rel}} \pm 1,0 \text{ dB}$	Messunsicherheit: 3 dB im Ergebnis nicht berücksichtigt
Arbeitsplatzbezogener Emissionswert L _{pa} :	57 dB	Wert ermittelt nach DIN EN ISO 11203	
			
Firma:		Unterschrift:	
Ort:		Datum:	