



Schalldruck oder Schallintensität – Zwei Wege führen zum Schalleistungspegel

Arnd Balger*)

Für die Ermittlung von Schalleistungspegeln kommen in der Forschung und industriellen Akustik zwei sehr unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Schalldruckmessungen mit einer Anzahl von Mikrofonen zum einen, Schallintensitätsmessungen mit einer Intensitätssonde zum anderen. Sie unterscheiden sich in der Praxis in den Anforderungen an die Messgeräte, den Bediener, die Messumgebung und mehr. Für beide Verfahren bietet die Firma OROS leistungsfähige und praxisorientierte Lösungen auf der Basis ihrer Palette an tragbaren Signalanalysatoren.

Hersteller von Maschinen, Geräten und Produkten vielerlei Art müssen heute den Schalleistungspegel für deren Betrieb ermitteln. Sei es, weil die Lärmemission für Kunden eine spürbar wachsende Rolle spielt, oder weil die Einhaltung von Grenzwerten für Arbeitsplatzbewertungen oder die Zulassung mancher Geräte in der EU zwingend gefordert wird.

Ein Beispiel für den ersten Fall ist die Angabe der Schalleistung auf Haushaltsgeräten wie Waschmaschinen, die jedem Kunden die Auswahl eines leisen Geräts ermöglicht. Exemplarisch für Grenzwerte sei die EU Outdoor-Directive 2000/14/EC genannt, die für im Freien betriebene Maschinen vom Rasenmäher bis zum Bagger anzuwenden ist.

Grundlagen der Schalleistung

Der Schalleistungspegel quantifiziert die gesamte von einem Objekt als Schall abgestrahlte Energie. Anders als der Schalldruckpegel ist er unabhängig von der Entfernung zum Objekt, dem umgebenden Raum und anderen Einflüssen. Sein Stellenwert resultiert aus der direkten Vergleichbarkeit der Werte für zwei Maschinen, selbst wenn Messungen an unterschiedlichen Orten mit unterschiedlichen Bedingungen erfolgen. Vorausgesetzt ist dabei die

Anwendung der gebräuchlichen Normen.

Gemessen wird der Schalleistungspegel anhand einer das Messobjekt vollständig umschließenden Messfläche. In der Theorie ist für die Fläche das Integral der Schallintensität¹ zu bilden, mit dem die durch die Fläche fließende Schallenergie erfasst wird. Praktisch werden diskrete Teilflächen gemessen, für die Teilergebnisse ermittelt und aufaddiert werden.

Bei der Festlegung der Messfläche ist darauf zu achten, dass sie nur die zu messende Schallquelle umschließt. Des Weiteren sind Schallsenken in Form absorbierender Materials innerhalb der Fläche unzulässig, solange sie nicht fest zum Messobjekt gehört. Man kann hier an einen Teppichboden unter einer zu messenden Büromaschine denken. Diesen müsste man mit schallreflektierenden Platten abdecken.

Der Schalleistungspegel kann wie im Folgenden beschrieben durch die Messung der Schallintensität (Verfahren A) bestimmt werden. Alternativ kann er unter bestimmten Voraussetzungen mittels Schalldruckmessungen (Verfahren B) ermittelt werden.

¹ Die Schallintensität kann analog zum Fluß im elektrischen Feld betrachtet werden.

*) Arnd Balger, Vertriebsingenieur

OROS GmbH
Clemensstr. 22-24
56068 Koblenz
Fon: 0261 / 13396-50
Fax: 0261 / 13396-49

Mail: a.balger@oros-
deutschland.com

Verfahren A: Schalleistung aus Schallintensitätsmessungen



Die Schallintensität ist eine vektorielle Größe, die in Normalenrichtung auf die Messfläche gemessen wird. Verwendet wird dazu eine Schallintensitätssonde, die aus einem Mikrofonpaar besteht, welches höchste Anforderungen an die übereinstimmende Messung der Phase erfüllen muss. Man verwendet daher „phase matched“ Mikrofone. Beide Mikrofone sind über einen Abstandhalter (spacer) miteinander verbunden, dessen Länge den messbaren Frequenzbereich der Sonde bestimmt. Je kürzer der Spacer, um so höher der Frequenzbereich. Ausgerichtet wird das Mikrofonpaar zum Messen so, dass die durch beide Mikrofone gehende Achse der Normalen auf die Messfläche entspricht.

Angenehmerweise benötigt man für Schalleistungsmessungen mittels der Intensität keine Kenntnis über die Art des Schallfeldes, in dem gemessen wird. Die Schallemissionen des zu messenden Geräts dürfen durch Schallabstrahlungen benachbarter Geräte, also Hintergrundlärm, oder Schallreflexionen an Wänden und Objekten überlagert sein. Die Werte des Messobjekts und weiterer Quellen addieren sich vektoriell. In die Messfläche eindringender Umgebungslärm wird zunächst negativ an einer Stelle der Messfläche mit gemessen. Er tritt an anderer Stelle direkt oder reflektiert wieder aus und geht hier positiv in das Ergebnis ein. In der Summe der Schalleistungsberechnung über die gesamte Messfläche mittelt er sich heraus. Vorausgesetzt ist dabei, dass der Umgebungslärm über die gesamte Messzeit stationär bleibt.

Da Intensitätsmessungen neben der Quantität auch eine Richtungsinformation erfassen, können Schallquellen geortet und mit geeigneter Software anschaulich dargestellt werden. Damit lassen sich Haupt-

quellen des Lärms an Maschinen erkennen und gezielt Abhilfen erarbeiten.

Genormt sind Schallintensitätsmessungen in ISO 9614. Die Norm gestattet beliebig geformte Messflächen, beispielsweise Halbkugeln, Quader oder konturnahe Formen um das Messobjekt. In der Praxis bewährt sich meist eine Messfläche aus einem oder mehreren zusammengesetzten Quadern. Deren Oberfläche wird in eine Anzahl Teilflächen gerastert, für die wie in ISO 9614 Teil 1 beschrieben je ein diskreter Punkt gemessen wird. Alternativ dazu erlaubt ISO 9614 Teil 2 das „Scanning“, bei dem größere Teilflächen mit der Sonde abgefahren und gemittelt werden. Das Scanning-Verfahren benötigt weniger Zeit als diskrete Messungen, erfordert jedoch viel Übung auf Seiten des Anwenders, der dabei

besonderen Einfluss auf die erreichbare Genauigkeit hat.

Prädestiniert für die Schallintensitätsmessung ist beispielsweise die Untersuchung an einer Pumpe, deren angeflanschter Antrieb nicht mit gemessen werden soll. Die Messfläche kann dazu konturnah um die Pumpe gelegt werden. Die Schallemission des mitlaufenden Antriebs geht dabei nicht in das Ergebnis mit ein.

Lösung A: OROS Schallintensität

Für die zweikanalige Schallintensitätsmessung bietet OROS leistungsfähige Lösungen auf Basis der Analytoren der Reihe OR2x, ebenso wie mit den 4 Multianalysatoren der Reihe OR3x. Alle Geräte bieten kompromisslose Qualität und Genauigkeit als Basis für präzise Ergebnisse.



Bild 3: Schallintensitätsmessung in der Praxis

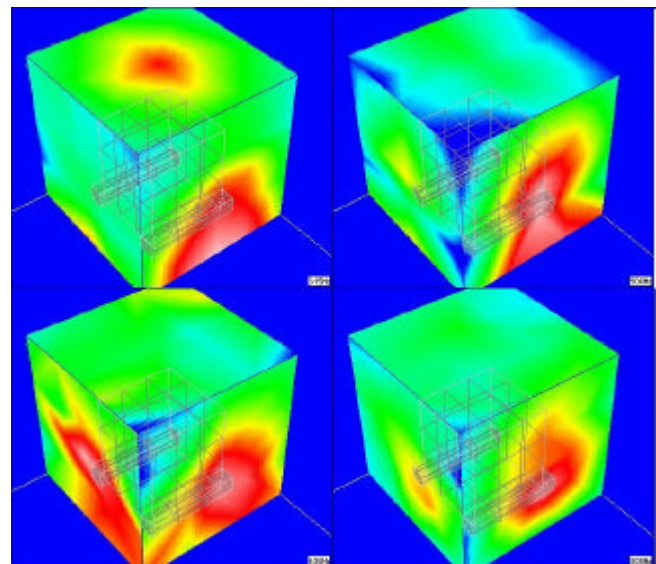


Bild 4: 3D-Schallintensität für verschiedene Frequenzen

Der Anwender kann die Messfläche über einen grafischen Editor in 2D oder 3D schnell erstellen. Die vorbereitete Konfiguration erfordert nur noch wenige weitere Eingaben. Nach Auswahl der verwendeten Sonde aus der Aufnehmerdatenbank kann für Messungen hoher Genauigkeitsanforderung der Schalldruck, die Phase und der PRI-Index kalibriert werden. Anschließend werden die einzelnen Teilflächen nacheinander gemessen und über die in der Schallintensitätssonde integrierte Fernbedienung inkrementiert. Nach der Messung bleibt das Intensitäts- und Schalldruck-Spektrum jeder Fläche zugänglich, während eine Farbkarte die Pegelverteilung wahlweise für den Gesamtlevel oder ausgewählte Frequenzbänder veranschaulicht.

Ein Mausklick führt zum Schalleistungsergebnis nach ISO 9614 und ein weiterer zum fertigen Bericht. Zuvor kann anhand der automatisch berechneten Norm-Indikatoren überprüft werden, ob die Messung hinsichtlich Stationarität, maximalen Pegelunterschieden zwischen Messflächen, Anteil des Hintergrundlärms, etc. die Anforderungen erfüllt. Dabei wird selbstverständlich die gewählte Art der Messung (survey, engineering oder laboratory) berücksichtigt. Im Flussdiagramm ist sofort erkennbar, welche Messfläche bei welchen Frequenzen nicht normkonform ist und welche Abhilfemaßnahme angewendet werden sollte.

Außer der 2D-Darstellung der Schallintensitätsverteilung gibt es eine 3D-Option, die mit einer interpolierten Farbverteilung die Schallquellen aus beliebigem Blickwinkel begreifbar macht.

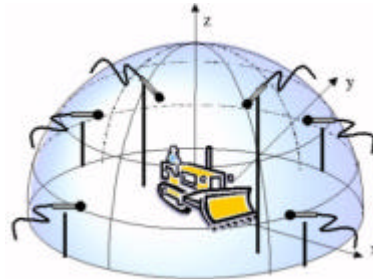
Neben der Oktav- und Terzanalyse kann der Anwender dominierende Frequenzen mit Hilfe einer schmalbandigen FFT-Analyse eingrenzen.

Die Schallintensitätspakete aller OROS Analysatoren sind für die komplette Palette der Vibrations- und Akustik-Untersuchungen erweiterbar. FFT und Oktavanalyse, Order Tracking, Maschinenhochlauf, Recording, Modalanalyse, Betriebswuchten, uvm. ist möglich. Dabei kann ein OR34 mit 2 bis 4 Kanälen

bei nur 1,4 kg Gewicht verwendet werden, bis hin zu einem OR38 mit 32 Kanälen

Die Multianalysefähigkeit dieser Geräte gestattet darüber hinaus vielfältige weitere Analysen.

Verfahren B: Schalleistung aus Schalldruckmessungen



Bei Einhaltung einiger Anforderungen, insbesondere bei bestimmten Arten des Schallfeldes, kann von Schalldruckmessungen auf die Schalleistung geschlossen werden. Möglich ist dies in schalltoten Räumen und Hallräumen, in welche die Messobjekte gebracht werden müssen. Deren akustische Eigenschaften sind bekannt. Für andere Messorte müssen sie erst aufwändig ermittelt werden, beispielsweise durch Nachhallzeitmessungen mit einer Normschallquelle. Der dazu erforderliche Aufwand an Zeit und Ausrüstung ist beträchtlich. Das akustische „Free Field“ über einem reflektierenden Boden ist außer im schalltoten Raum auch im Freien gegeben, wenn man fern von Schall reflektierenden Hindernissen misst und der Hintergrundlärm gering genug ist.

Das Schallfeld wird mit auf der Messfläche verteilten Mikrofonen vermessen, aus deren Schalldruckpegel und der Größe der Messfläche die Schalleistung berechnet wird. Prinzipbedingt können einfache Mikrofone allerdings nicht zwischen Schallemissionen der zu messenden Quelle und Hintergrundlärm bzw. Schallreflexionen unterscheiden. Als Abhilfe kann man den Hintergrundlärm bei abgeschalteter Schallquelle erfassen und

während der Messung subtrahieren. Vorausgesetzt, er bleibt während der Messzeit konstant und ist deutlich leiser als die Schallquelle.

Genormt ist die Schalleistungsmessung über den Schalldruck u.a. in ISO 3741 (Hallraum), ISO 3744 (schalltoter Raum bzw. Freifeld; reflektierender Boden) und ISO 3745 (schalltoter Raum).

Die Normen gehen von 6, 9, 12, 17 und anderen Anzahlen von Mikrofonen aus, deren Positionen auf der halbkugel- oder quaderförmigen Messfläche vorgeschrieben sind. Größere Mikrofonzahlen bis 20 und darüber hinaus verbessern die Genauigkeit und sind für stark gerichtete Schallquellen oftmals unumgänglich. Als Anwender wird man Vor- und Nachteil der Anordnungen abwägen müssen. Beispielsweise liegen quaderförmige Messflächen näher am Messobjekt, was den Einfluss von Hintergrundlärm reduziert. Sie erfordern andererseits immer ein Mikrofon direkt über dem Messobjekt, was bei großen Maschinen im Freien schwer zu realisieren ist.



Bild 6: Schalleistungsmessung mittels Schalldruck an einem Großbagger

	A: Schallintensität	B: Schalldruck
Normen	ISO 9614 Teil 1+2	ISO 3741, 3744, 3745 u.a.
Analysator	OROS Analysatoren OR2x und OR3x	OROS Analysatoren der Reihe OR3x
Sensorik	Schallintensitätssonde	Standard Messmikrofone
Anzahl Kanäle	2	ab 5 bis 20
Messumgebung	Beliebig, auch in der Nähe anderer in Betrieb befindlicher Maschinen	Freifeld oder spezielle Räume (Hallraum oder Schalltoter Raum)
Zeitbedarf Messung	mittel bis hoch	gering
Vorbereitungsaufwand je Messort	gering bis mittel (Vorbereitung eines Rasters)	mittel bis hoch (Positionierung Mikrofone, Nachhallzeitmessung, etc.)
Durchführung	Erfordert Fachkenntnis	Bei vorbereiteter Konfiguration einfach
Hintergrundlärm	Kann lauter als Schallquelle sein	Muss mindestens 3 dB niedriger sein
Schallquellenortung	3D Schallquellenkartierung	Bestenfalls Richtcharakteristik erkennbar
Typische Anwendung	F&E, Service	Standard-/Serienmessungen; Großmaschinen

Tabelle 1: Vergleich von Schallintensitäts- und Schalldruckverfahren zur Schalleistungsmessung

Lösung B: OROS Schalleistung

Für die vielkanalige Echtzeit-Schalleistungsmessung bietet OROS ein komfortables Lösungspaket an, basierend auf den Multi-Analysatoren OR35, OR36 und OR38. Diese Pakete bieten 6-20 Eingänge für Mikrofone mit ICP-Versorgung oder Polarisationsspannung. Zusätzliche Kanäle stehen für langsame Prozesssignale zur Verfügung. Die erforderlichen Oktavanalysen aller Mikrofonsignale leisten die OR3x Multianalysatoren in Echtzeit, so dass unmittelbar am Ende der Messung ein vom Anwender modifizierbarer Bericht erzeugt wird.

Vor der Messung wird der Bediener durch das Setup geführt, das alle gängigen Normen mit den dort vorkommenden Messflächen, Mikrofonanordnungen, Korrekturen, etc. anbietet. Wahlweise können abweichende Bedingungen berücksichtigt werden. Beispielsweise eine Messung mit wenigen Mikrofonen, welche die Mikrofonpositionen einer Messfläche in mehreren Durchgängen nacheinander misst. Selbstverständlich wird auch die Kalibrierung der Mikrofone angeboten. Mit der einmal erstellten und abgespeicherten Konfiguration kann der Bediener beliebig viele Messungen mit nur vier Kommandos durchführen:

- 1) Messung des Hintergrundlärms, falls erforderlich
- 2) Messung der Schallquelle
- 3) Erfassen ergänzender Informationen für den Bericht, z.B. Seriennummer, Drehzahl etc.
- 4) Abspeichern des Berichts

Der Bericht ist sofort als EXCEL-Dokument verfügbar und kann gedruckt oder weiter bearbeitet werden.

Schon während der Messung ist die Echtzeit-Oktavanalyse aller Mikrofone und das Schalleistungsergebnis sichtbar, so dass Probleme sofort erkannt werden.

Im Rahmen der Messung finden auf Wunsch alle Korrekturen und Gültigkeitsprüfungen nach Norm statt, bezüglich Hintergrundlärm, Umgebung, Reproduzierbarkeit und Richtcharakteristik.

Ein Beispiel für die Schalleistungsmessung nach ISO 3744 mit dem OR38 ist die Untersuchung eines Großbaggers, die einen Messhalbkugelradius von 32 m erforderte. Dabei wurden 12 Mikrofonpositionen mit nur 6 Mikrofonen in 2 Durchgängen gemessen, zwischen denen der Bagger um 180 ° gedreht wurde. Die Anordnung wurde gewählt, da so vier Mikrofone mit einfachen Bodenstativen positioniert werden konnten und nur zwei mit Kränen auf eine Höhe von fast 20 m gebracht werden mussten. Zahlreiche verschiedene Betriebszustände wurden bei moderatem Aufwand in kurzer Zeit gemessen.

Anstelle der besonderen Schalleistungspakete kann ein vollständiger OR3x Multianalysator mit 2 bis 32 Kanälen verwendet werden. Damit steht dem Anwender das ganze Feld der Schall- und Schwingungsanalyse mit FFT, Oktavanalyse, Ordnungsanalyse, Modalanalyse, etc. zur Verfügung. Mit der Schalleistungssoftware und

der Multi-Analysefähigkeit eines OR3x ist es sogar möglich, zeitgleich zur Schalleistungsberechnung alle Mikrofonensignale für weitere Auswertungen aufzuzeichnen.

Zusammenfassung

Für Schalleistungsmessungen in Forschung, Entwicklung und Service bietet sich meist das Schallintensitätsverfahren an, insbesondere wenn es sich um häufig wechselnde Messorte handelt. Es erfordert den geringeren messtechnischen Aufwand mit lediglich zwei Mikrofonkanälen und ermöglicht Schallquellenortung sowie Messungen in lauten Umgebungen.

Das auf Schalldruck basierende Verfahren erfordert Kenntnis über die akustischen Eigenschaften der Umgebung bzw. des Messraumes. Für Räume sind daher aufwändige Voruntersuchungen erforderlich, beispielsweise die Ermittlung der Nachhallzeit mit Normschallquellen.

Nur bei Messungen im Freien wie im Beispiel des Großbaggers kann darauf verzichtet werden. Als Vorteil hat das Schalldruckverfahren weitergehendes Automatisierungspotential für Standard- und Serienmessungen, das den Nachteil des großen messtechnischen Aufwands von Fall zu Fall überwiegt.

Für beide Messverfahren bietet OROS nicht nur eine bewährte Palette an Echtzeit-Signalanalytoren, sondern spezialisierte Lösungspakete, die Flexibilität, Normkonformität und einfachste mögliche Bedienung vereinigen.