

## AKUSTIK KOMPAKT (37)

# Schallintensität und Schall-Leistung

**Bauakustik** | Die beiden Begriffe in der Überschrift haben eine besondere Bedeutung für die Bauakustik, schließlich geht auch die Definition des Schalldämm-Maßes  $R$  auf das Verhältnis von Schall-Leistungen zurück. Im Folgenden erläutert unser Akustik-Experte Prof. Dr. Ivar Veit deshalb die Begriffe sowie die davon gebildeten Pegelgrößen  $L_1$  bzw.  $L_w$ . Abschließend stellt er noch das Prinzip der Intensitäts-Messung vor.

Bei der messtechnischen Bestimmung des Schalldämm-Maßes  $R$  von trennenden Bauteilen und Bauelementen bestimmt man nach den heute allgemein gültigen Norm-Vorschriften [1][2] zunächst die mittleren Schalldruckpegel  $L_1$  und  $L_2$  im Sende- und im Empfangsraum, bildet dann die Differenz aus beiden und korrigiert das Ergebnis mit dem zehnfachen Logarithmus des Verhältnisses aus der Fläche  $S$  [in  $m^2$ ] des jeweiligen Trennbauteils und der äquivalenten Absorptionsfläche  $A_2$  [in  $m^2$ ] des Empfangsraumes:

$$R = \bar{L}_1 - \bar{L}_2 + 10 \cdot \lg \frac{S}{A_2} \quad [\text{in: dB}] \quad (1)$$

Über diese Vorgehensweise wurde in früheren Beiträgen dieser Serie bereits mehrfach berichtet [3][4][5]. Die Fläche  $S$  des trennenden Bauteils kann relativ schnell gemessen oder auch aus einer entsprechenden Bauzeichnung abgelesen werden. Die Absorptionsfläche  $A_2$  dagegen muss auf dem „Umwege“ über die Messung der Nachhallzeit  $T_2$  bestimmt werden [3]. Sämtliche Messungen werden mit Terzbandrauschen innerhalb eines Frequenzbereichs zwischen (meist) 100 Hz und 3150 Hz durchgeführt; diese Werte stellen Bandmittenfrequenzen dar. Soweit die heute allgemein übliche Praxis.

Als man sich seinerzeit mit diesem Thema zu beschäftigen begann, hatte man schon den richtigen Ansatz, nämlich die Schalldämmung von trennenden Bauteilen durch Messung der übertragenen Schall-Leistung zu bestimmen, auch wenn man von der Messtechnik her zu jener Zeit noch nicht so weit war. Und so geht denn auch die Definition des Schalldämm-Ma-

ßes  $R$  grundsätzlich auf das Verhältnis von Schall-Leistungen zurück, wie man das heute noch im Teil 1 der DIN 52210 [1] nachlesen kann. Das Schalldämm-Maß ist somit definiert als der zehnfache Logarithmus des Verhältnisses der, z. B. auf eine Wand, auftreffenden Schall-Leistung  $W_{ak1}$  [in Watt] zu der von der gleichen Wand im dahinter befindlichen Empfangsraum abgestrahlten Schall-Leistung  $W_{ak2}$  [in: Watt]:

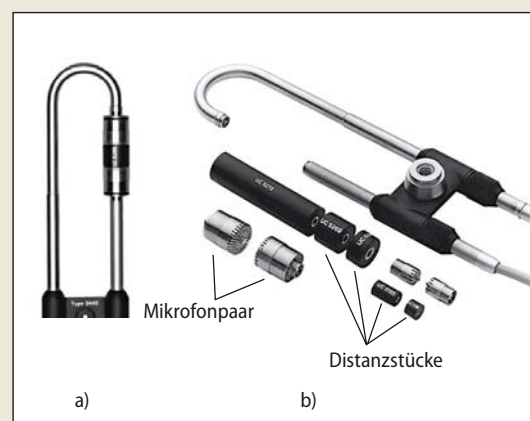
$$R = 10 \cdot \lg \frac{W_{ak1}}{W_{ak2}} = L_{W1} - L_{W2} \quad [\text{in: dB}] \quad (2)$$

Zur Wahl der Symbole ist erläuternd Folgendes zu sagen: Normalerweise verwendet man für Leistungen generell das Symbol  $P$  [von „power“]. Da aber in der Akustik bei flüchtiger Schreibweise eine Verwechslung mit dem sehr ähnlichen Symbol  $p$  für den Schalldruck leicht möglich ist, bezeichnet man die akustische Leistung mit dem Symbol  $W$ . Entsprechendes gilt auch für den Schall-Leis-

tungspegel  $L_w$ . Die Bezugsleistung für die Bildung des Leistungspegels ist  $W_{ako} = 10^{-12}$  [W].

Wie bereits ausgeführt, hatte man zu jener Zeit noch nicht die technischen Mittel, um die Schall-Leistung direkt und unmittelbar zu messen. Dazu kam es erst sehr viel später, nämlich in den 1970er Jahren, als die ersten Messgeräte zur Schallintensität auf den Markt kamen [6]. Davor musste zunächst ein anderer Weg gefunden werden, um mit den vorhandenen Mitteln solche Messungen durchzuführen, und das waren Messmikrofone, mit denen man nur den Schalldruck  $p$  messen bzw. den Schalldruckpegel  $L_p$  bestimmen konnte. Aus dieser Situation heraus ergab sich das Messverfahren, das der Gleichung (1) zugrunde liegt. Dieses Verfahren setzt allerdings stillschweigend voraus, dass die Schallfelder, die sich im Sende- und vor allem im Empfangsraum ausbilden, *diffus* sind. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, was in der Praxis nicht selten der Fall ist, so

ABBILDUNG 1



Schallintensitäts-Messmikrofonsonde  
**a)** Komplette Messmikrofonsonde, bestehend aus zwei einander (face-to-face) gegenüberstehenden Kondensatormikrofonkapseln und einem Distanzstück dazwischen.  
**b)** Zerlegte Messmikrofonsonde. Das Bild zeigt zwei Mikrofonpaare unterschiedlichen Durchmessers mit den dazu gehörigen, unterschiedlich langen Distanzstücken. Für Messungen bei sehr hohen Frequenzen verwendet man die kurzen Distanzstücke, während bei tieferen Frequenzen die langen Distanzstücke zum Einsatz kommen.

ist das Resultat gemäß Gleichung (1) exakt betrachtet, nur eine Näherung.

### Intensität und Leistung des Schalls in Theorie und Praxis

Die Schallintensität  $I$  ergibt sich definitionsgemäß aus dem Produkt des Schalldrucks  $p$  und der Schallschnelle  $v$  [in m/s]:

$$I = p \cdot v \quad [\text{W/m}^2] \quad (3)$$

Unter der Schallschnelle versteht man die Teilchengeschwindigkeit, d. h. die Geschwindigkeit, mit der sich die Mediumteilchen – in Luft sind dies die Luftmoleküle – bei einer Schallanregung um ihre Ruhelage herum bewegen. In hinreichend großer Entfernung von der Schallquelle, d. h. im so genannten *ebenen Schallfeld*, ist das Verhältnis von Schalldruck zur Schallschnelle konstant und gleich dem Produkt aus der Mediumdichte  $\rho$  und der Schallgeschwindigkeit  $c$ ; es ist quasi eine Materialkonstante. Man bezeichnet diese Größe auch als Schallkennimpedanz  $Z_o$  [Einheit  $\text{Ns/m}^3$ ]. In Luft bei einer Temperatur von  $20^\circ\text{C}$  ist  $Z_o = 408 \text{ Ns/m}^3$ . Früher verwendete man dafür auch den Begriff Wellenwiderstand:

$$Z_o = \frac{p}{v} = \rho \cdot c \quad [\text{in Luft: } 408 \text{ Ns/m}^3] \quad (4)$$

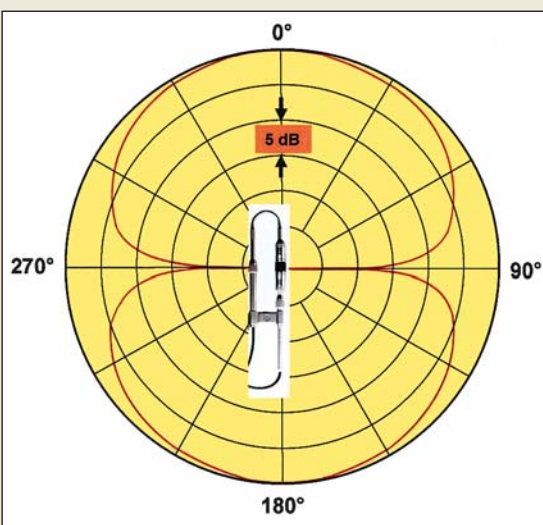
Die Schall-Leistung  $W_{ak}$  ihrerseits ergibt sich aus dem Produkt der Schallintensität  $I$  und der durchschallten Fläche  $S$ . Die Leistung einer Schallquelle ist eine quelleneigene und entfernungsunabhängige Größe. Sie ist die einzige (!) Größe, die eine Schallquelle energetisch charakterisiert. Bei einer sich kugelförmig im Freien ausbreitenden Schallwelle entspricht  $S$  der Oberfläche einer solchen, sich mit Schallgeschwindigkeit ausbreitenden Kugel, d. h.  $4\pi r^2$ , wobei  $r$  die Entfernung vom Kugelmittelpunkt darstellt:

$$W_{ak} = I \cdot S = I \cdot 4\pi r^2 \quad [\text{in: W}] \quad (5)$$

Kombiniert man die Gleichungen (3) bis (5), so bekommt man einen direkten Zusammenhang zwischen der Schallleistung und dem Schalldruck. Für eine sich frei ausbreitende Schallwelle ergibt sich daraus:

$$W_{ak} = p \cdot v \cdot 4\pi r^2 = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \cdot 4\pi r^2 \quad (6)$$

ABBILDUNG 2



Richtdiagramm der Schallintensitäts-Messsonde („Achtercharakteristik“) mit Empfindlichkeitsmaxima bei  $0^\circ$  und  $180^\circ$ ; bei einer Frequenz von  $1,0 \text{ kHz}$ . Infolge der beiden scharf ausgeprägten Minima bei  $90^\circ$  und  $270^\circ$  eignet sich die Sonde besonders gut auch zur Ortung von unbekanntem Schallquellen.

bzw.

$$p = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{W_{ak} \cdot \rho \cdot c}{4\pi}} \quad [\text{in: N/m}^2] \quad (7)$$

Diese Beziehung gilt generell nur für *ebene, sich frei ausbreitende Schallwellen*. Wie man daraus unschwer erkennt, nimmt der Schalldruck  $p$  in einer sich frei ausbreitenden Schallwelle umgekehrt proportional zur Entfernung  $r$  ab. Das entspricht einer Pegelabnahme von  $-6 \text{ dB}$  pro Entfernungsverdopplung.

Ganz anders sieht es im *diffusen* Schallfeld aus, wie es sich in einem von schallharten Wänden umschlossenen Raum ausbilden kann. Das ist der Fall, mit dem man es im Allgemeinen in der Bauakustik zu tun hat. Dort besteht zwischen dem Schalldruck  $p$  und der Schall-Leistung  $W_{ak}$  zwar auch eine quadratische Beziehung ( $W_{ak} \sim p^2$ ), aber die Größe des Schalldrucks  $p$  ist hier *unabhängig* (!) von der Entfernung  $r$  zur Schallquelle:

$$p = \sqrt{\frac{W_{ak} \cdot 4 \cdot \rho \cdot c}{A}} \quad (8)$$

Gleichung (8) beschreibt den Zusammenhang zwischen der Schall-Leistung und dem Schalldruck in einem diffusen Schallfeld; sie bildet die Grundlage für die messtechnische Bestimmung des Schalldruckpegels  $L_2$  im Empfangsraum bei der Ermittlung des Schalldämm-Maßes nach den Gleichungen (1) und (2). Sie enthält alle kennzeichnenden Größen:  $p_2$ ,  $W_{ak2}$  und  $A_2$ .

### Messung der Schallintensität ermittelt auch Dämm-Leckagen

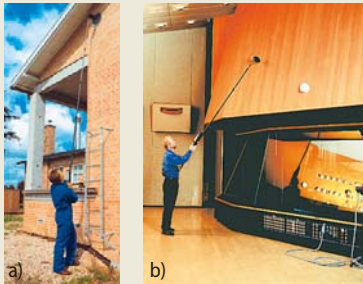
Geht man von einer Trennwand aus, deren Fläche  $S$  vom Empfangs- und vom Senderaum aus gesehen gleich groß ist, so kann man, unter Berücksichtigung der Gleichung (5) die Gleichung (2) auch folgendermaßen schreiben [7]:

$$R = 10 \cdot \lg \frac{I_1}{I_2} = L_{I1} - L_{I2} \quad [\text{in: dB}] \quad (9)$$

Darin sind  $L_{I1}$  und  $L_{I2}$  die Schallintensitätspegel im Sende- und Empfangsraum. Die Bezugsintensität für die Bildung des Intensitätspegels beträgt  $I_o = 10^{-12} \text{ [W/m}^2]$ . Bestimmt man das Schalldämm-Maß durch Messung der Schallintensitäten  $I_1$  und  $I_2$  bzw. der Intensitätspegel  $L_{I1}$  und  $L_{I2}$  im Sende- und Empfangsraum, so entfällt die zusätzliche Ermittlung der äquivalenten Absorptionsfläche  $A_2$  des Empfangsraums über die zeitaufwendige Messung der frequenzabhängigen Nachhallzeit  $T_2$  und man gewinnt aus beiden Messwerten sofort das Schalldämm-Maß  $R$ .

Im Gegensatz zum Schalldruck  $p$ , der eine *skalare* und somit ungerichtete Größe darstellt, ist die Schallintensität  $I$ , genauso wie auch die Schallschnelle  $v$ , eine *vektorielle*, d. h. gerichtete Größe. Das bedeutet, dass die Messtechnik der Schallintensität neben ihrer Verwendbarkeit zur Ermittlung der Schalldämmung von Bauelementen auch zur Feststellung von akustischen Schwachstellen oder „Lecks“ in trennenden Bauteilen eingesetzt werden kann.

ABBILDUNG 3

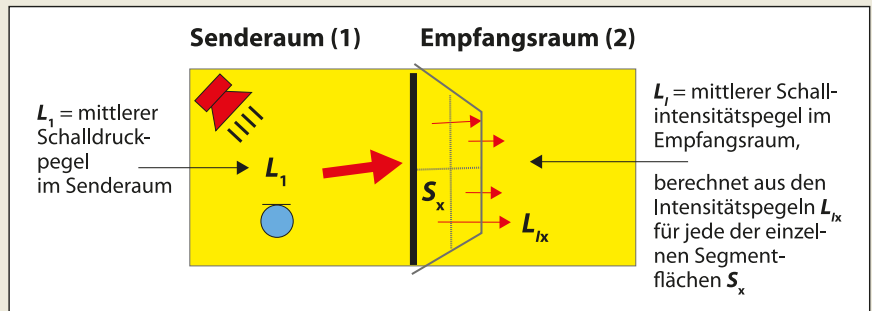


Praktische Beispiele für die Anwendung der Schallintensitäts-Messmethode in der Bauakustik

- Messung der Schalldämmung einer Außenwand und
- Messung der Schalldämmung in einem kleinen Studio mithilfe einer Schallintensitäts-Messsonde senkrecht und unmittelbar vor einer Trennwand

Werkfotos: Brüel & Kjær, Nærum/Dänemark

ABBILDUNG 4



Ermittlung der partiellen Schalldämmungen von einzelnen Segmentflächen durch Anwendung der Schallintensitäts-Messmethode. Auf diese Weise ist es möglich, auch akustische „Leaks“ ausfindig zu machen. Bei der Messung wird die Sonde stets senkrecht zur Fläche des trennenden Bauelements gehalten.

Zur Messung der Schallintensität benutzt man eine speziell dafür entwickelte Intensitäts-Messsonde. Sie besteht aus zwei genau ausgesuchten Messmikrofonkapseln, die sich in einem bestimmten Abstand  $\Delta_x$  gegenüberstehen, siehe Abbildung 1. Mit einer solchen Anordnung wird nicht mehr der Schalldruck  $p$ , sondern der sogenannte **Schalldruckgradient**  $grad p = \Delta p / \Delta x$  gemessen. Darunter versteht man das Schalldruckgefälle im Schallfeld. Der Druckgradient ist ebenfalls eine gerichtete, d. h. **vektorielle** Größe. Das Richtdiagramm einer solchen Mikrofonsonde hat eine Achtercharakteristik mit zwei dafür typischen und sehr scharf ausgeprägten Minima, siehe Abbildung 2. Achtercharakteristiken eignen sich vorzüglich zu Peilzwecken, nicht nur in der Antennentechnik, sondern auch in der Akustik.

Mithilfe der Schallintensitäts-Messmethode kann man sehr einfach und zeitsparend, ohne den Umweg über eine zusätzliche Messung der Nachhallzeit  $T_2$  zur Bestimmung der äquivalenten Absorptionsfläche  $A_2$ , das Schalldämm-Maß  $R$  unmittelbar ermitteln und darüber hinaus auch noch Schwachstellen in trennenden Bauteilen sehr genau ausfindig machen. Dieses Verfahren hat sich bei Wänden, Decken, aber auch bei Vorsatzschalen bestens bewährt, siehe dazu die Abbildung 3.

Bei der praktischen Ermittlung des Schalldämm-Maßes mit Hilfe der Inten-

sitäts-Methode geht man in der Weise vor, dass im Senderraum, genau wie bisher auch, der räumlich gemittelte Schalldruckpegel  $L_1$  gemessen wird. Anders dagegen im Empfangsraum. Dort misst man die mittlere Schallintensität  $I_2$  bzw. den gemittelten Schallintensitätspegel  $L_{12}$  nach einem zügigen Überstreichen oder „Scannen“ der gesamten Messfläche, und zwar in sehr geringem Abstand (5 bis 10 cm). Aus diesen Messwerten erhält man das Schalldämm-Maß nach folgender Formel [8]:

$$R = \bar{L}_1 - 6dB - \bar{L}_{12} \quad [\text{in: dB}] \quad (10)$$

Teilt man die gesamte Trennfläche  $S$  in viele kleine Segmentflächen  $S_x$  auf, so kann man auch partielle Schalldämmungen messen, die bei der Aufdeckung von akustischen Leaks sehr hilfreich sind, siehe auch Abbildung 4:

$$R_x = \bar{L}_1 - 6dB - \bar{L}_{1x} + 10 \cdot \lg \frac{S}{S_x} \quad (11)$$

□

#### LITERATUR

- [1] DIN 52210, Bauakustische Prüfungen; Luft- und Trittschalldämmung.
- [2] DIN EN ISO 140, Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen
- [3] Veit, I.: Das bewertete Schalldämm-Maß  $R'_{w}$ . In: Trockenbau Akustik 08/2206, S. 40-41
- [4] Veit, I.: Die Schall-Längsdämmung. In: Trockenbau Akustik 11/2006, S. 42
- [5] Veit, I.: Dreimal Luftschalldämmung. In: Trockenbau-Akustik 04/2008, S. 28-29
- [6] Veit, I.: Industrielles Messen in der Akustik und Schwingungstechnik – eine Übersicht, Technisches Messen ATM, 44 w(1977), S. 163 ff. (Teil 1) und S. 217 ff. (Teil 2)
- [7] Fricke, J., Moser, L.M., Scheurer H. und Schubert, G.: Schall und Schallschutz. Physik-Verlag Weinheim, 1983, S. 112
- [8] Bretschneider, V.: Praxisnahe Anwendungen der Schallintensitätsmesstechnik in der Bauakustik. Vortrag auf den 1. Weimarer Bauphysiktagen im Oktober 2001, B&K GmbH Dresden

#### Autor

**Prof. Dr.-Ing. Ivar Veit** ist Akustiker und Sachverständiger mit Büros in Nauheim (Groß Gerau) und Riga (Lettland). An der FH Wiesbaden / Rüsselsheim hat er einen Lehrauftrag für Akustik. E-Mail: i.veits@gmx.net

Frühere Beiträge unserer Serie „Akustik kompakt“ können Sie auf unserer Website unter der Rubrik „Akustik“ nachlesen. [www.trockenbau-akustik.de](http://www.trockenbau-akustik.de)

#### [www.trockenbau-akustik.de](http://www.trockenbau-akustik.de)

- > Archiv
- Schalldämmung
- Schallübertragung