

## Vorwort von Eberhard Sengpiel, Audio-Technik

Besonders Akustiker im Fach Bauakustik, die als Lärmbekämpfer und Theoretiker tätig sind, benötigen als Schallgröße die Schallleistung bzw. die Schallintensität als [Schallenergiegröße](#) für ihre Schallmessungen und Schallberechnungen, wobei der störende Schall (Störschall) überwiegend mit Lärm zu bezeichnen ist.

Sound-Designer (Tontechniker) sind eher "Ohrenmenschen". In der Tontechnik (Tonaufnahmetechnik) ist die Klangbeurteilung des Nutzschalls recht bedeutsam. Daher interessiert als Schallgröße überwiegend der Schallwechseldruck (Schalldruck) bzw. der Schallpegel (Schalldruckpegel SPL = Sound Pressure Level) als Wirkung an den Trommelfellen des Gehörs und den Membranen der Mikrofone als [Schallfeldgröße](#). Die wichtigste Schallfeldgröße der Tontechnik ist der Schalldruck; gemessen mit einem Schalldruckmessgerät (SPL-Meter).

**Merke:** Die abgestrahlte Schallleistung (Schallintensität) ist die Ursache - **und der Schalldruck ist die Wirkung**. Diese Schallwirkung interessiert besonders den Tonverantwortlichen.

Tatsache: Der Schalldruck  $p$  nimmt umgekehrt proportional mit zunehmendem Abstand  $r$  von der Schallquelle nach dem Entfernungsgesetz ab - also mit  $1/r$ . Es gibt jedoch viele Fehlgeleitete, die beim Abstand  $r$  falsch das Quadrat nennen: siehe: ["Falsche Abnahme vom Schalldruck mit der Entfernung von der Schallquelle"](#).

Besonders unklar ist alles rund um die "Messung" und Bewertung der psychoakustischen Lautstärke (Lautheit) als Empfindungsgröße; siehe: ["Subjektiv empfundene Lautstärke \(Lautheit\), objektiv gemessener Schalldruck \(Spannung\) und theoretisch berechnete Schallintensität \(Schallleistung\)"](#).

## Einleitung

Mit der Veröffentlichung der Abhandlung von [Lord Rayleigh, "The Theory of Sound" 1877](#) und seiner Duplex-Theorie wurde bereits der Grundstein für die moderne Akustik gelegt. Zentraler Punkt dieser Arbeit war die Bestimmung der physikalischen Größe "Sound Intensity", Schallintensität. Es klaffte dann noch lange Zeit eine Lücke zwischen Theorie und Praxis. Erst seit wenigen Jahren ist es möglich, die Größe Schallintensität direkt zu messen.

Die Möglichkeit, akustische Größen messtechnisch zu erfassen, eröffnete sich erst mit der fortschreitenden Entwicklung auf dem Gebiet der Elektronik, z. B. durch die Erfindung des Triodenverstärkers durch L. de Forest im Jahre 1906 und das erste, 1915 von E. C. Wente entwickelte Kondensatormikrofon. Der erste Versuch, ein Schallintensitätsmessgerät zu konstruieren, wurde von H. F. Olson 1932 unternommen. Das Gerät arbeitete allerdings nur unter idealisierten Messbedingungen und war daher nicht praxistauglich. Aus demselben Grund scheiterten auch verschiedene andere Versuche, ein brauchbares Schallintensitätsmessgerät herzustellen.

Erst 45 Jahre später wurde die Schallintensität als Messgröße wieder interessant, als F. J. Fahy und J. Y. Chung (1977) die neu zur Verfügung stehenden, digitalen Signalverarbeitungsverfahren auf die Schallintensitätstheorie anwandten.

Seitdem hat sich die Schallintensitätsmessung rasch als zuverlässiges Messverfahren etabliert, nicht zuletzt auch aufgrund der erheblichen Fortschritte bei der Mikrofonherstellung. Erstmals können Schallintensitätswerte nicht nur theoretisch errechnet, sondern auch praktisch gemessen werden.

## Schalldruck und Schalleistung

Eine Schallquelle emittiert Schalleistung und erzeugt dadurch einen bestimmten Schalldruck; d. h. Schalleistung ist die Ursache, Schalldruck die Wirkung. Ein Vergleich aus der Wärmelehre macht den Zusammenhang deutlich: Die von einem elektrischen Heizofen abgegebene Wärme bewirkt, dass sich eine bestimmte Temperatur  $T$  im Raum einstellt. Wie hoch die Temperatur ist, hängt von der Raumgröße, der Art der Isolierung, dem Vorhandensein anderer Wärmequellen usw. ab. Die Wärmeleistung des elektrischen Heizofens ist jedoch immer die gleiche, praktisch unabhängig vom Raum, in dem er sich befindet.

Beim Schall verhält es sich ähnlich: der Schalldruck, den wir wahrnehmen (oder mit einem Mikrofon messen), ist abhängig vom Abstand zur Schallquelle und von den akustischen Eigenschaften des Raums, in dem sich die Schallwellen ausbreiten. In einem großen, mit schallabsorbierenden Material ausgekleideten Raum hört sich eine Maschine leiser an als in einem kleinen Raum mit nackten Betonwänden. Die Schalleistung der Maschine ist jedoch immer die gleiche.

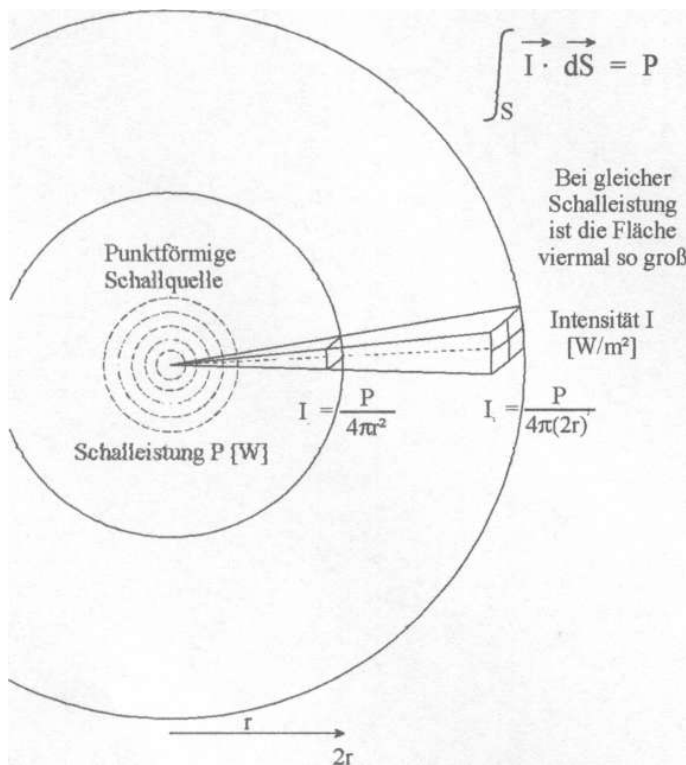
Zur Beurteilung der Lärmbelastung am Arbeitsplatz ist die Messung des Schalldrucks durchaus sinnvoll. Hier ist nur entscheidend, dass ein bestimmter Grenzwert nicht überschritten wird. Der Einfluss der Umgebungsbedingungen ist von untergeordneter Bedeutung.

Anders verhält es sich bei Messungen zur Bestimmung der Schalleistung einer Maschine. Hier wird eine Messgröße benötigt, die unabhängig von den Umgebungsbedingungen ist und in direkter Beziehung zur Schalleistung steht - die Schallintensität.

## Was ist Schallintensität?

Jede Maschine, die vibriert, strahlt Schallenergie ab. Die Rate, mit der die Schallenergie abgestrahlt wird, ist die Schalleistung (= Energie pro Zeiteinheit). Die Schallintensität beschreibt den Energiefluss im Raum, d. h. die Energie, die pro Zeiteinheit eine senkrecht zur Abstrahlrichtung stehende Einheitsfläche passiert. Die Dimension der Schallintensität ist "Energie pro Zeit und Fläche" und wird in  $W/m^2$  angegeben.

Im Gegensatz zum Schalldruck, der als skalare Größe nur einen Betrag hat, besitzt die Schallintensität als vektorielle Größe sowohl einen Betrag, als auch eine Richtung. Man kann daher mit einer Schallintensitätssonde die Richtung des Energieflusses bestimmen und eine Schallquelle lokalisieren.



## Warum Schallintensität messen?

Um die Lärmbelastung in einer Fabrikhalle beurteilen zu können, misst man den Schalldruckpegel am Arbeitsplatz. Stellt sich dabei heraus, dass die zulässigen Grenzwerte überschritten werden, müssen Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Dazu ist es erforderlich, die Schalleistung jeder einzelnen Maschine zu bestimmen, um festzustellen, welche Maschine am lautesten ist. Der nächste Schritt ist dann, an der betreffenden Maschine diejenigen Komponenten aufzuspüren, die am meisten Schall abstrahlen.

Dazu eignen sich besonders Schallintensitätsmessungen. Früher war es nur möglich, den Schalldruck zu messen, der aber von den akustischen Umgebungsbedingungen abhängig ist. Die Schalleistung einer Maschine lässt sich daher nur dann aus gemessenen Schalldruckwerten berechnen, wenn der Messraum genau definierte akustische Eigenschaften besitzt, wie z. B. ein reflexionsarmer Raum oder ein Hallraum (s. DIN 45635). Lässt sich eine Messung nur vor Ort vornehmen, so müssen u. U. Messungenauigkeiten in Kauf genommen werden.

Die Schallintensität dagegen lässt sich in jeder Umgebung messen, unabhängig von den akustischen Eigenschaften des jeweiligen Raums. Maschinen oder einzelne Maschinenkomponenten können direkt vor Ort gemessen werden, selbst wenn sich andere Geräuschquellen in der Nähe befinden. Stationäre Hintergrundgeräusche haben keinen Einfluss auf die Intensitätsmessung und die daraus gewonnenen Schalleistungswerte.

Da die Schallintensität als vektorielle Größe sowohl Betrag als auch Richtung besitzt, eignet sie sich sehr gut zur Schallquellenlokalisierung.

## Das Schallfeld

Ein Schallfeld ist ein Gebiet, in dem Schall auftritt. Es wird charakterisiert durch die Umgebung sowie die Art und Weise, wie sich die Schallwellen in ihm fortbewegen.

### Das Freifeld

Unter dem Begriff "Freifeld" versteht man die Schallausbreitung im idealisierten freien Raum, in dem die Schallwellen nirgendwo reflektiert werden. Solche Bedingungen finden sich nur im Freien (in einiger Entfernung vom Boden, der ja auch reflektiert) oder in einem schalltoten Raum. Charakteristisch für die Schallausbreitung im Freifeld ist die Abnahme des Schalldruckpegels und des (in Ausbreitungsrichtung gemessenen) Intensitätspegels um 6 dB bei einer Verdoppelung des Abstands von der Schallquelle. Dieses ergibt sich aus dem Entfernungsgesetz. Die Schallleistungsbestimmung unter Freifeldbedingungen ist in ISO 3745 festgelegt.

### Das Diffusfeld

Ein diffuses Schallfeld entsteht, wenn der Schall in einem Raum so oft reflektiert wird, dass der Schalldruckpegel praktisch an jeder Stelle des Raums gleich ist. Ein solches Schallfeld wird in einem Hallraum angestrebt. Obgleich der Betrag der Schallintensität Null ist, lässt sich doch ein Zusammenhang zwischen dem Schalldruck und der einseitig gerichteten Schallintensität  $I_x$  - einer rein theoretischen Größe - herstellen.  $I_x$  ist die Schallintensität in einer bestimmten Richtung, wenn die entgegengesetzt wirkende, gleichstarke Intensitätskomponente nicht berücksichtigt wird. Diese Größe lässt sich mit einem Schallintensitätsanalysator nicht messen, ist aber insofern von Bedeutung, als sich über sie die Schallleistung aus gemessenen Schalldruckwerten bestimmen lässt. Dieses Verfahren ist in DIN 45635 T2 und ISO 374 beschrieben.

### Aktive und reaktive Schallfelder

In einem aktiven Schallfeld breitet sich Schallenergie aus, in einem reaktiven Schallfeld nicht: Die Energie wandert hin und her, sie ist wie in einer Feder gespeichert. Der Netto-Energiefluss (und damit die Schallintensität) ist Null. Im allgemeinen besteht ein Schallfeld aus aktiven Schallanteilen (Wirkanteil) und aus reaktiven (Blindanteil). Schalldruckmessungen zur Schallleistungsbestimmung führen in schlecht definierten Schallfeldern zu unzuverlässigen Ergebnissen, da der Blindanteil des Nahfelds keinen Beitrag zum Fernfeld leistet. Wir können allerdings die Schallintensität messen, die nur den tatsächlichen Energiefluss berücksichtigt. Zwei Beispiele für reaktive Schallfelder:

### Stehende Wellen in einer Röhre

Der hin- und herbewegte Kolben an dem einen Ende der Röhre erzeugt Druckschwankungen und somit Schallwellen, die am Ende der Röhre reflektiert werden. Durch Überlagerung der ankommenden und der reflektierten Schallwellen entsteht eine stehende Welle mit Druckminima und Druckmaxima. Wird die gesamte Schallenergie am Röhrenende reflektiert, so ist die Schallintensität Null. Ist das Röhrenende schallabsorbierend, so lässt sich eine bestimmte Schallintensität feststellen. Stehende Wellen bilden sich z.B. in Räumen bei tiefen Frequenzen.

### Das Nahfeld einer Schallquelle

Im Nahfeld einer Schallquelle verhält sich die Luft wie ein Feder-Masse-System, das Energie speichert: Schallenergie zirkuliert, ohne sich auszubreiten. Im Nahfeld lässt sich die Schallleistung nur anhand von Intensitätsmessungen bestimmen. Messungen im Nahfeld haben den Vorteil, dass sich ein besserer Nutz/Störabstand ergibt.

## Schalldruck und Schallschnelle

Wenn ein Luftteilchen aus seiner ursprünglichen Position verdrängt wird, führt dies zu einem zeitweisen Druckanstieg. Der Druckanstieg bewirkt, dass das benachbarte Luftteilchen ebenfalls aus seiner Ausgangsposition gedrängt wird, während das erste Luftteilchen versucht, wieder seine ursprüngliche Position einzunehmen. Diese zyklische Druckzunahme und Druckabnahme bildet eine Schallwelle, die sich im Raum ausbreitet. Zwei physikalische Größen charakterisieren diesen Vorgang: der Schalldruck, d. h. die dem Luftdruck überlagerten, örtlichen Druckschwankungen, und die Schallschnelle, d. h. die Geschwindigkeit, mit der die Luftteilchen um ihre mittlere Position oszillieren. Schallintensität ist das Produkt von Schalldruck und Schallschnelle, ist also Schalleistung pro Einheitsfläche:

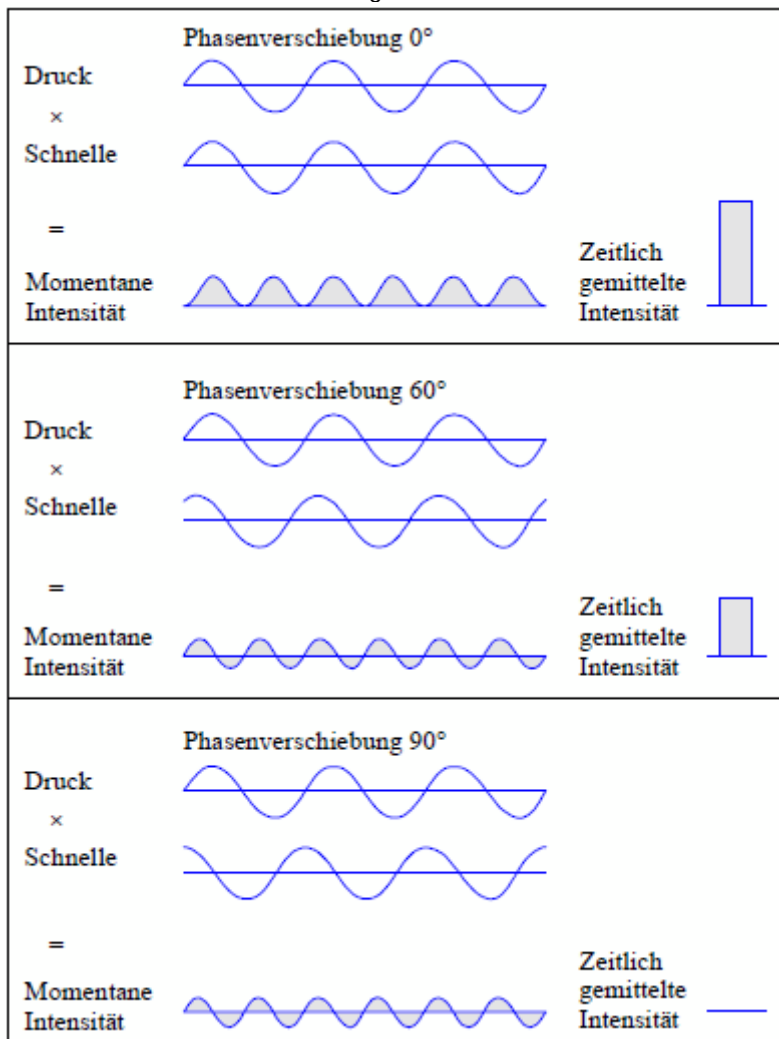
$$\text{Intensität} = \text{Druck} \cdot \text{Schnelle} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}} \cdot \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}} = \frac{\text{Energie}}{\text{Fläche} \cdot \text{Zeit}} = \frac{\text{Leistung}}{\text{Fläche}}$$

In einem aktiven Schallfeld sind Druck und Schnelle in Phase, d. h. die Druckmaxima fallen zeitlich mit den Schnellemaxima zusammen. Das Produkt aus Druck und Schnelle ergibt die momentane Intensität, die über die Zeit zu einem einzelnen Wert gemittelt wird. In einem rein reaktiven Schallfeld sind Druck und Schnelle außer Phase, d.h. Druck- und Schnellemaxima sind um 90° gegeneinander verschoben, Die sich ergebende Kurve für die momentane Schallintensität schwankt sinusförmig um den Nullpunkt, die über die Zeit gemittelte Intensität ist daher Null. In einem diffusen Schallfeld schwankt die Phasenverschiebung beliebig, so dass die zeitlich gemittelte Intensität ebenfalls Null ist.

## Wie wird Schallintensität gemessen?

### Die Eulersche Gleichung zur Bestimmung der Teilchengeschwindigkeit

Schallintensität ist das zeitlich gemittelte Produkt von Druck und Schnelle. Um den Schalldruck zu messen,



genügt ein einziges Mikrofon. Schwieriger ist es, die Schallschnelle zu bestimmen. Sie lässt sich allerdings über die linearisierte Eulersche Gleichung auf den Druckgradienten (d. h. die Rate, mit der sich der augenblickliche Schalldruck mit der Entfernung ändert) zurückführen. In der Praxis wird der Druckgradient durch zwei dicht nebeneinander montierte Mikrofone bestimmt, die jeweils den Schalldruck messen. Daraus wird die Schallschnelle berechnet.

Die Eulersche Gleichung ist im Prinzip die von Newton formulierte mechanische Grundgleichung, angewandt auf eine Flüssigkeit. Die mechanische Grundgleichung stellt eine Beziehung her zwischen der Beschleunigung, die eine Masse erfährt, und der Kraft, die auf die Masse einwirkt. Sind Kraft und Masse bekannt, so lässt sich daraus die Beschleunigung errechnen. Durch Integration der Beschleunigung über die Zeit erhält man die Geschwindigkeit.

**Bild 2** - Schalldruck, Schallschnelle und Schallintensität

In der Eulerschen Gleichung ist es der Druckgradient, der eine Flüssigkeit der Dichte  $\rho$  beschleunigt. Sind Druckgradient und Dichte bekannt, so lässt sich die Teilchenbeschleunigung berechnen, Durch Integration der Teilchenbeschleunigung erhält man die Teilchengeschwindigkeit.

## Das Näherungsverfahren zur Druckgradientenbestimmung

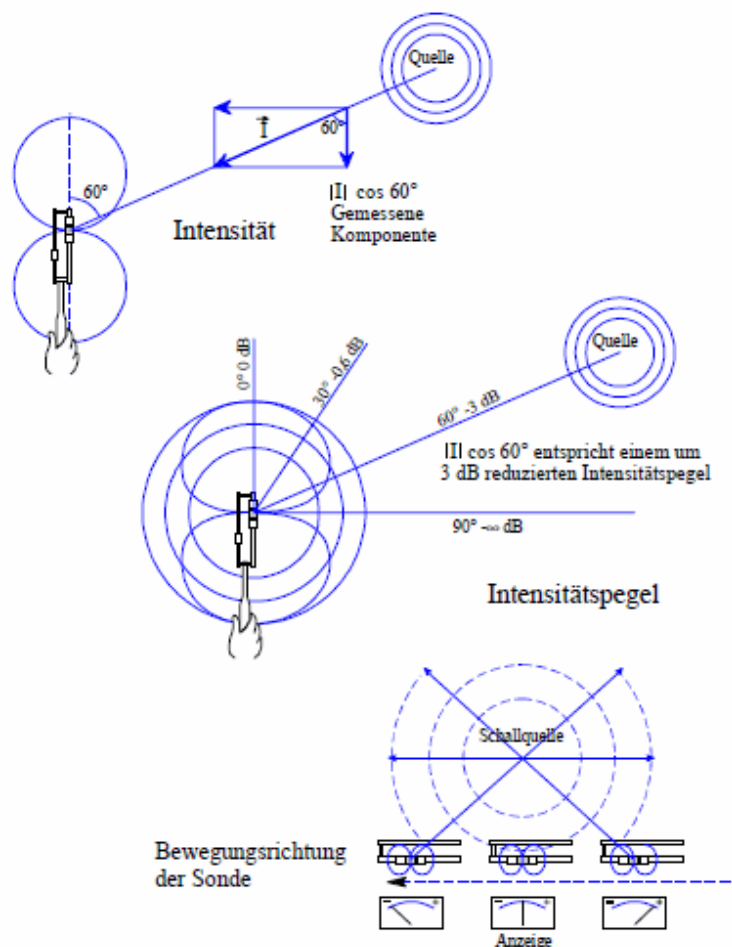
Der Druckgradient ist eine kontinuierliche Funktion, eine sich gleichmäßig ändernde Kurve. Mit zwei dicht nebeneinander montierten Mikrofonen ist es möglich, den Druckgradienten durch lineare Näherung (Approximation) zu bestimmen, indem die Differenz der Schalldrücke in Punkt A und B durch den Abstand  $\Delta r$  der Messpunkte geteilt wird.

## Die Berechnung der Schallintensität

Um die Schallschnelle zu erhalten, wird der Druckgradient über die Zeit integriert. Der berechnete Wert gilt für das akustische Zentrum der Schallintensitätssonde, d. h. die Mitte zwischen den beiden Mikrofonen. Der mittlere Schalldruck, der aus den Schalldrücken der beiden Mikrofone berechnet wird, bezieht sich ebenfalls auf diesen Punkt. Das über die Zeit gemittelte Produkt von Schalldruck und Schnelle ergibt die Schallintensität.

Ein System zur Schallintensitätsanalyse besteht aus einer Sonde und einem Analysator. Mit der Sonde werden die unterschiedlichen Schalldrücke bei Mikrophon A und B erfasst. Die weiteren mathematischen Berechnungen zur Bestimmung der Schallintensität werden vom Analysator durchgeführt. Die mathematischen Gleichungen selbst sind nichts Neues. Neu ist die Anwendung moderner Signalverarbeitungsverfahren, die sich dieser mathematischen Gleichungen bedienen. Die Intensitätsberechnung kann auf zwei Arten erfolgen: durch digitale o- der analoge Integratoren und Filter, oder durch einen FFT-Analysator. Bei der FFT-Analyse wird die Intensität auf den Imaginärteil des Kreuzspektrums der beiden Mikrophonsignale bezogen. Beide mathematischen Verfahren führen zum gleichen Ziel - der Bestimmung der Schallintensität.

## Die Schallintensitätssonde



Eine Brüel & Kjær - Schallintensitätssonde besteht aus zwei einander gegenüberliegenden Mikrofonen, die ein Distanzstück voneinander trennt. Die Anordnung hat sich anderen Mikrofonpositionen in Frequenzgang und Richtcharakteristik überlegen erwiesen. Da der Mikrofonabstand den Frequenzbereich der Sonde bestimmt, stehen Distanzstücke in drei verschiedenen Längen (6, 12 und 50 mm) zur Verfügung. Zur Messung tieferer Frequenzen dienen  $\frac{1}{2}$ "-Mikrofone, für höhere Frequenzen  $\frac{1}{4}$ "-Mikrofone.

## Richtcharakteristik

Die Richtcharakteristik der Sonde hat (in der zweidimensionalen Ebene) die Form einer Acht und wird als Kosinus-Charakteristik bezeichnet. Sie ergibt sich aus der Sonden geometrie und den Berechnungen durch den Analysator.

Da der Schalldruck eine skalare Größe ist, sollten die Mikrofone in allen Richtungen gleich ...

Bild 3 Richtcharakteristik der Schallintensitätssonde

empfindlich sein, also Kugelcharakteristik besitzen. Die Schallintensität dagegen ist eine vektorielle, d. h. gerichtete Größe. Mit der Sonde messen wir allerdings nicht den Vektor, sondern lediglich die Vektorkomponente in Richtung der Sondenachse. Der vollständige Intensitätsvektor entsteht aus den Komponenten für alle drei Raumrichtungen.

Trifft der Schall im Winkel von  $90^\circ$  auf die Sonde, so ergibt sich keine Intensitätskomponente in Richtung der Sondenachse: Die Mikrofone werden gleichzeitig von den Schalldruckschwankungen getroffen, Schnelle und damit auch Schallintensität sind Null. Stimmen Schalleinfallrichtung und Sondenachse überein, so wird die volle Intensität gemessen. Für alle anderen Einfallswinkel  $\theta$  ergibt sich in Richtung der Sondenachse eine reduzierte Schallintensität von  $|I| \cos \theta$ , daher die Bezeichnung "Kosinus-Charakteristik".

## Pegel und Bezugswerte

Die Größen Schalldruck, Intensität, Leistung und Schnelle werden in der Regel als Pegel angegeben (in dB = Dezibel) und mit  $L_p$ ,  $L_I$ ,  $L_W$  und  $L_U$  bezeichnet. Unter dem Begriff "Pegel" wird das logarithmierte Verhältnis von gemessenem Wert zu einem genormten Bezugswert verstanden. Als Bezugswert für den Schalldruckpegel ist zum Beispiel ein Bezugsschalldruck festgelegt worden, der ungefähr der Hörschwelle des menschlichen Gehörs entspricht.

Die anderen Bezugswerte sind über die Beziehungen zwischen Druck, Schnelle und Intensität definiert. Im freien Schallfeld ergeben sich, gemessen in Ausbreitungsrichtung, für Schalldruck, Intensität und Schnelle dieselben Pegelwerte. Theoretisch sind die Werte nicht genau gleich, weil die festgelegten Bezugswerte gerundet sind. Wie groß die tatsächliche Differenz ist, hängt von der akustischen Impedanz ( $\rho \cdot c$ ) des Mediums ab, in dem sich der Schall ausbreitet.  $\rho$  ist die Dichte,  $c$  die Schallgeschwindigkeit in dem betreffenden Medium. Für das Medium "Luft" ist diese Abweichung allerdings in der Regel vernachlässigbar klein, es sei denn, die Messung erfolgt in größerer Höhe über dem Meeresspiegel.

Im freien Schallfeld ergeben sich für den Schalldruckpegel und den Schallintensitätspegel, gemessen in Ausbreitungsrichtung, die gleichen Werte, Hier ist die Messung speziell der Intensität also nicht erforderlich. Meist finden wir aber keine Freifeldbedingungen vor, d. h. es ergibt sich eine mehr oder weniger große Differenz zwischen Schalldruckpegel und Schallintensitätspegel, die als Druck-Intensitäts-Index bezeichnet wird.

## Einige Rechenbeispiele

1. Ein Rasenmäher emittiert eine Schalleistung von 0,01 Watt. Wie hoch sind Schalldruck- und Intensitätspegel in 1,5 m Entfernung? Da sich der Rasenmäher im Freien befindet, setzen wir Freifeldbedingungen voraus. Darüber hinaus nehmen wir vereinfachend an, dass der Untergrund schallreflektierend ist. Der Schall wird also halbkugelförmig über eine Fläche von  $2 \cdot \pi \cdot r^2$  abgestrahlt. Bei  $r = 1,5$  m beträgt die Fläche  $14 \text{ m}^2$ . Somit ergibt sich eine Schallintensität von  $I = 0,01 / 14 \text{ W/m}^2$  bzw. ein Intensitätspegel von  $10 \log (I / I_0) = 88,5 \text{ dB re } 1 \text{ pW/m}^2$ . Aufgrund der Freifeldbedingungen gilt für den Schalldruckpegel der gleiche Wert, nämlich  $88,5 \text{ dB re } 20 \text{ } \mu\text{Pa}$ .
2. Zwei Pegel sind zu addieren,  $80 \text{ dB}$  und  $-80 \text{ dB}$ . Wie hoch ist der Gesamtpegel? Hier ist Vorsicht geboten! Ein negativer Pegel bedeutet, dass der Intensitätswert kleiner als der Bezugswert ist. Das Minuszeichen sagt nichts über die Schallrichtung aus! Der Gesamtpegel ist  $80 \text{ dB}$ , da  $-80 \text{ dB}$  einen vernachlässigbar kleinen Intensitätswert darstellt, der praktisch nicht vorkommt.
3. Zwei Personen stehen einander gegenüber und sprechen miteinander. Es soll der Gesamtintensitätspegel bestimmt werden, wenn beide gleichzeitig sprechen. Intensitätspegel können nicht einfach addiert werden. Wie also wird vorgegangen? In diesem Fall spielt die Abstrahlrichtung eine Rolle.

Sprecher 1: Der Pegel der nach rechts abgestrahlten Intensität beträgt 70 dB. Sprecher 2: Der Pegel der in entgegengesetzter Richtung abgestrahlten Intensität beträgt 67 dB. Aus der Differenz der Intensitätswerte lässt sich der von der Sonde gemessene Intensitätspegel zwischen den beiden Sprechern berechnen:

$$I = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{70}{10}} - 10^{\frac{67}{10}} \right) = 67 \text{ dB (nach rechts gerichtet)}.$$

## Schalleistungsbestimmung aus Intensitätswerten

Die Bestimmung der Schalleistung aus Intensitätspegeln ermöglicht Messungen auch im Nahfeld oder bei Vorhandensein stationärer Fremdgeräusche. Zudem ist es sehr einfach: Die Schalleistung ergibt sich durch Multiplikation der in Abstrahlrichtung über die gesamte Messfläche gemessenen und gemittelten Schallintensität mit der Größe der Messfläche. Die Messfläche ist eine gedachte Hüllfläche um die Schallquelle, auf der die Messpunkte liegen.

Die Form der Messfläche ist ohne Bedeutung, solange sich keine Fremdgeräuschquellen oder schallabsorbierenden Flächen in ihr befinden. Der Boden wird als schallreflektierend vorausgesetzt und ist daher nicht Teil der Messfläche. Der Abstand der Messfläche von der Schallquelle kann theoretisch beliebig gewählt werden. Drei Beispiele für mögliche Messflächenformen:

**Der Quader.** Form und Größe sind beliebig. Die Messfläche ist leicht zu berechnen, und die ebenen Flächen erleichtern die Messung genau entlang der Quaderkonturen. Die Gesamtschalleistung ergibt sich durch Addieren der für jede Teilfläche ermittelten Werte.

**Die Halbkugel.** Diese Form erfordert die wenigsten Messpunkte. Für eine Schallquelle mit gleichmäßiger Schallabstrahlung in alle Raumrichtungen ergibt sich im Freifeld an jedem Punkt der Halbkugel der gleiche Intensitätspegel. Nach ISO 3745 sind Messungen an mindestens zehn Messpunkten durchzuführen.

**Die konturgetreue Messfläche.** Sie ermöglicht Nahfeldmessungen mit einem besseren Nutz-/ Störabstand und Rückschlüsse auf den spezifischen Ort der Schallabstrahlung.

### Räumliche Mittelung

Die Messung der Schallintensität erfolgt senkrecht zur Messfläche. Die Fläche kann durch ein Messgitter definiert sein oder durch vorgegebene Abstandswerte von bestimmten Bezugspunkten. Um für jede Seite der Hüllfläche einen Mittelwert zu erhalten, sind zwei Verfahren zur räumlichen Mittelung möglich.

### Kontinuierliches Überstreichen der Messfläche

Bei dieser Methode wird die Sonde über die Messfläche geführt, als ob eine Fläche bemalt würde. Dazu ist eine ausreichend lange Mittelungszeit zu wählen. Das Ergebnis ist ein einziger, räumlich gemittelter Intensitätswert. Multipliziert man diesen Wert mit der jeweiligen Flächengröße, so erhält man die abgestrahlte (Teil-)Schalleistung. Die Gesamtschalleistung ergibt sich durch Addition der für jede Messflächenseite ermittelten Schalleistungswerte.

### Die punktweise Messung

Bei der zweiten Mittelungsart wird die Messflächenseite in einzelne Segmente aufgeteilt und die Schallintensität in jedem Segment gemessen. Ein Messgitter aus Draht oder Bindfaden hilft, die Abstände zwischen den Messpunkten genau einzuhalten. Zur Ermittlung der Schalleistung werden die in den einzelnen Segmenten gemessenen Werte gemittelt und mit der Flächengröße der betreffenden Messflächenseite multipliziert. Die Gesamtschalleistung ergibt sich durch Addition der Teilbeträge für jede Messflächenseite.