

Neben Grundbegriffen wie Frequenz und Schalldruckpegel sind für das Verständnis von Schall seine Wirkungsweise und die Frage entscheidend, wie Menschen Schall wahrnehmen. Gesetze und Normen regeln die maximalen Lärmbelastungen.

# Der Schall

Schall ist eine mechanische Schwingung von gasförmigen, flüssigen oder festen Medien. In der Bau- und Raumakustik sind vor allem der Luft- und der Körperschall von Bedeutung. Die wesentlichen Merkmale des Schalls sind neben seiner Geschwindigkeit der Schalldruck und die Frequenz (Tabelle 1).

## Schalldruck und Schalleistung

Das Ohr ist ein Schalldrucksensor. Der Schalldruck und die Lautstärkeempfindung hängen aber nicht linear zusammen. Dies ist einer der Gründe, wieso mit der logarithmischen Verhältnisgrösse Pegel in Dezibel (abgekürzt dB) gearbeitet wird. Der Schalldruckpegel  $L_p$  ist wie folgt definiert:

$$L_p = 10 \cdot \lg \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right) = 20 \cdot \lg \left( \frac{p}{p_0} \right) \text{ (dB)}$$

$$p_0 = 20 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$$

Der Wert  $p_0$  entspricht der Hörschwelle bei 1000 Hz. Eine Erhöhung oder eine Verminderung des Schalldruckpegels um 10 dB entspricht auf dem grössten Teil der empfundenen Lautstärkeskala einer Verdoppelung beziehungsweise Halbierung der Lautstärke.

Der Schalldruckpegel ist eine geeignete Grösse, um die Immission zu beschreiben, also den Pegel am Empfangsort (Tabelle 2). Zur Beschreibung von Schallquellen existiert ebenfalls eine Pegelgrösse, welche hie und da mit dem Schalldruckpegel verwechselt wird, näm-

lich der Schalleistungspegel  $L_w$ . So findet man auf Baumaschinen die Angabe für  $L_w$ . In verschiedenen Abständen von der Baumaschine können verschiedene Schalldruckpegel  $L_p$  gemessen werden.

Wenn zwei Lärmquellen mit den Pegeln  $L_1$  und  $L_2$  gleichzeitig Schall abstrahlen, dürfen die einzelnen Pegel nicht einfach zu einem Summenpegel  $L$  arithmetisch addiert werden. Es muss die sogenannte Schallpegelarithmetik verwendet werden: Wenn die beiden Pegel gleich gross sind, wird der Summenpegel um 3 dB höher. Bei drei gleichen Pegeln beträgt die Summe 5 dB mehr als die Einzelpegel.

## Schallausbreitung

Der Schall wird durch mechanische Verschiebungen der Nachbar-Moleküle fortgepflanzt. Je höher die Teilchendichte eines Materials ist, desto schneller breitet sich Schall aus. Andererseits benötigen «schwere Materialien» (= hohe Teilchendichte) im Vergleich mit «leichten Materialien» (= geringere Teilchendichte) mehr Anregungsenergie, um die Teilchenkopplung zu bewirken. «Schwere Bauteile» mit einer grossen Masse dämmen den Schall deshalb besser als leichte Bauteile. Vergrössert sich der Abstand zu einer Schallquelle, verteilt sich die Schalleistung auf eine grössere Fläche und der Schallpegel vermindert sich. Eine Verdoppelung des Abstandes bedeutet eine Schallpegelminderung von 6 dB, einem zehnfach grösseren Abstand entspricht eine Pegelminderung von 20 dB, einem hundertfach grösseren Abstand eine Pegelminderung von 40 dB, tausendfach: 60 dB.

## Wahrnehmung

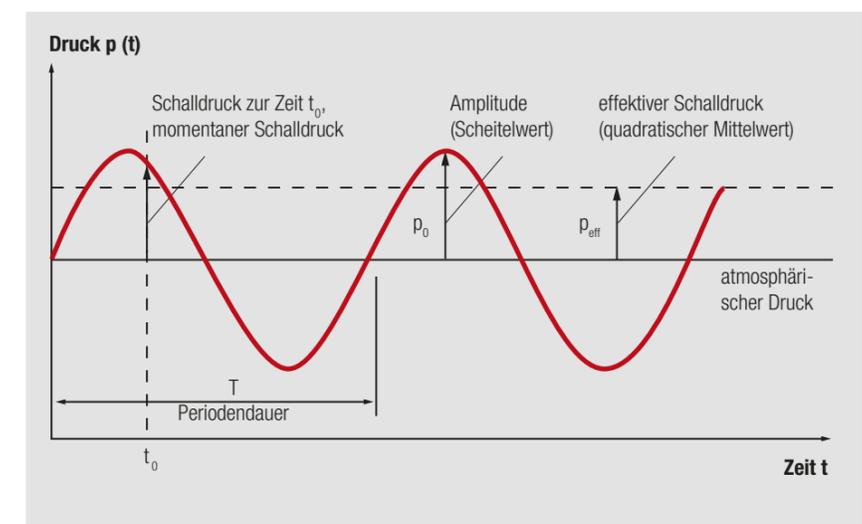
Die Lautstärkeempfindung von Schall ist frequenzabhängig: Hohe Töne sind bei gleicher Leistung besser hörbar als tiefe. Um dieses Phänomen wenigstens annähernd zu berücksichtigen, werden Schalldruckpegel einer Schallquelle in Abhängigkeit der Frequenz gefiltert respektive bewertet. Heute wird praktisch nur noch die Bewertung A verwendet, selten C (B und D sind schon lange nicht mehr gebräuch-

lich). Die so gewonnene Grösse heisst A-bewerteter Schalldruckpegel in dB(A). Der Frequenzbereich, in dem das menschliche Ohr hören kann, erstreckt sich von 16 Hertz bis etwa 20 000 Hertz.

Eine Schallwelle verliert auf jedem Meter des Weges einen Energieanteil. Allerdings dämpft die Luft nicht alle Frequenzbänder gleich stark. Bei 250 Hz beträgt die Dämpfung je Kilometer 1 dB bis 2 dB, bei 2500 Hz ist sie rund zehnmal grösser.

	Definition
<b>Welle und Wellenlänge</b> $\lambda$ (m)	Wellen können periodisch (Klang), nicht-periodisch (Geräusch) oder als Stosswelle (Knall) auftreten. Der Abstand zwischen identischen Punkten einer Sinuswelle wird als Wellenlänge $\lambda$ bezeichnet. Die Zeit, die eine Welle benötigt, um diese Distanz zurückzulegen, ist die Periode $T$ . Der höchste Ausschlag einer Welle ist die Amplitude $A$ . Die Schallwelle breitet sich mit der Schallgeschwindigkeit $c$ aus.
<b>Frequenz</b> $f = \frac{1}{T}$ (Hz oder 1/s)	Die Frequenz ist die Anzahl Schwingungen pro Zeiteinheit. Die Einheit der Frequenz ist das Hertz (Hz). Ein Hertz bedeutet eine Schwingung pro Sekunde. In der Bauakustik wird in der Regel der Bereich zwischen 100 Hz und 3150 Hz bewertet, für Geräusche gebäudetechnischer Anlagen gilt der Bereich von 50 Hz bis 5000 Hz.
<b>Schallgeschwindigkeit</b> $c = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T}$ m/s)	Die Geschwindigkeit der Schallausbreitung wird als Schallgeschwindigkeit $c$ bezeichnet. In idealen Gasen (z. B. Luft) ist $c$ von der absoluten Temperatur $T$ (K) abhängig. Sie beträgt in der Luft bei einer Temperatur von 20 °C 343 m/s. Bei gleichbleibenden physikalischen Eigenschaften des Mediums bleibt die Schallgeschwindigkeit konstant.
<b>Schalldruck</b> $p$ (Pa)	Physikalisch handelt es sich beim Luftschall um winzige Schwankungen des Luftdrucks, welche dem atmosphärischen Luftdruck überlagert sind. Diese Luftdruckänderung wird als Schalldruck $p$ bezeichnet.
<b>Schallintensität</b> $I(t) = p(t) \cdot \dot{v}(t)$ (W/m <sup>2</sup> )	Die Schallintensität $I$ gibt an, wie viel Schallenergie pro Sekunde sich durch 1 m <sup>2</sup> in eine bestimmte Richtung ausbreitet. Sie ist also eine gerichtete Grösse, welche sich aus dem Produkt des Schalldrucks $p$ und der Schallschnelle $v$ (Bewegungsgeschwindigkeit der Luftmoleküle) berechnet. Weit entfernt von der Schallquelle ist der Betrag der Schallintensität proportional zum Schalldruckquadrat ( $I \sim p^2$ ).

**Tabelle 1:** Wichtige physikalische Grundbegriffe zur Erklärung von Schall.



**Abbildung 1:** Schwingungsverlauf (aus Bauphysik, vdf, 2018).