

HANSER

Rhena Krawietz, Wilfried Heimke

Physik im Bauwesen

Grundwissen und Bauphysik

ISBN-10: 3-446-40276-4

ISBN-13: 978-3-446-40276-8

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/978-3-446-40276-8>
sowie im Buchhandel

$L_n' - L_B > 0$ gebildet. Aus den Messungen in *Bild 10.41* ergibt sich $L_{n,w}' = 42$ dB.

In allen vorgenannten Fällen der Schalldämmung muss zusätzlich die Ausbreitung (und Abstrahlung an anderer Stelle) von **Körperschall** berücksichtigt werden. Für die Dämmung dieses Körperschalls lassen sich allgemeine Möglichkeiten aus den Überlegungen des Abschnitts 10.5.2 ableiten. Körperschall wird durch Reflexion an Grenzflächen mit großen Unterschieden in der Schallkennimpedanz (z. B. Luftschichten innerhalb von Trennwänden) gedämmt; eine geeignete Geometrie (lange Schallwege, verkleinerte abstrahlende Flächen) oder die Dissipation der Körperschallenergie (Materialien mit großer innerer Reibung, Verluste an Kontaktflächen) können zur Verminderung der Körperschallübertragung genutzt werden. Zu Rechnungen der Körperschallausbreitung (insbesondere Schall-Längsleitung, Einfluss flankierender Bauteile u. Ä.) ist weitere Literatur heranzuziehen [5], [6].

Aufgaben

10.6 Welcher Schluckgrad ergibt sich beim senkrechten Auftreffen von Luftschall auf eine Wasseroberfläche von großer Ausdehnung ($c_{\text{Luft}} = 340$ m/s; $\rho_{\text{Luft}} = 1,2$ kg/m³; $c_{\text{Wasser}} = 1450$ m/s) ?

10.7 In einem Hörsaal (10 m x 17 m x 6 m) wurde die mittlere Nachhallzeit zu 0,9 s bestimmt. Welcher Schallpegel bildet sich im Raum aus, wenn ein Lautsprecher der Ausgangsleistung 20 W (elektroakustischer Wirkungsgrad 3 %) voll angesteuert wird?

10.8 Wie groß ist das Schalldämm-Maß des Glasflächenanteils eines Einfachfensters (Flächenmasse 10 kg/m²) bei senkrechtem Einfall von Schall der Frequenz 400 Hz? Wie ändert sich der errechnete Wert, wenn der Schall unter 60° gegen die Flächennormale einfällt?

10.6 Verkehrslärm

10.6.1 Äquivalenter Dauerschallpegel

Für den Schallschutz vor *Außenlärm* ist vorrangig der *Verkehrslärm* von Bedeutung. Die Berechnung der Luft-

schall-Dämmung von Fenstern, Außenwänden, Dächern erfordert einen **Immissionspegel** am Gebäude, der aus den Schallereignissen des Verkehrslärms ermittelt werden muss.

Die einzelnen Schallereignisse auf einer Straße, einem Gleiskörper, einem Parkplatz usw. treten meist nur kurzzeitig, aber häufig und in unregelmäßigen Zeitabständen auf. Sie werden durch eine Ersatzschallquelle konstanter Leistung in 25 m Entfernung von den tatsächlichen Lärmquellen ersetzt (**äquivalenter Dauerschallpegel** L_{25}).

Beim *Straßenverkehr* kann man einen äquivalenten Dauerschallpegel in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung (Zahl der PKW je h) angeben und dabei z. B. 1 LKW oder 1 Straßenbahn gleich 4 PKW, 1 Krad oder 1 Moped gleich 3 PKW setzen. Eine Aufteilung ist auch hinsichtlich der Verkehrswege (Autobahnen, Bundesstraßen, Stadtstraßen) sowie des LKW-Anteils möglich.

Bild 10.42 gibt mittlere Werte für eine Verkehrsbelastung mit PKW/h an.

Der äquivalente Dauerschallpegel von *Parkplätzen* richtet sich nach der Zahl der Ein- und Ausfahrten je Stunde.

Für unterschiedliche Straßenbeschaffenheiten (Belag, Steigung) kann man *Pegelerhöhungen* ΔL aus Tabellen entnehmen oder wie im Falle beidseitiger Randbebauung einer Straße z. B. nach der Formel

$$\Delta L = \left[10 \lg \left(1 + \frac{h}{b} \right) + 3 \right] \text{ dB}$$

abschätzen (h mittlere Gebäudehöhe, b Hausfluchtenabstand).

Für *Schienenverkehr* werden die äquivalenten Dauerschallpegel in Abhängigkeit von der Zahl der Züge je Stunde angegeben (*Bild 10.43*). Auch hier gibt es *Pegelerhöhungen*, z. B. für Nahverkehr mit mehreren getriebenen Wagen ($\Delta L = 6$ dB) oder vorwiegend Güterverkehr (3 dB).

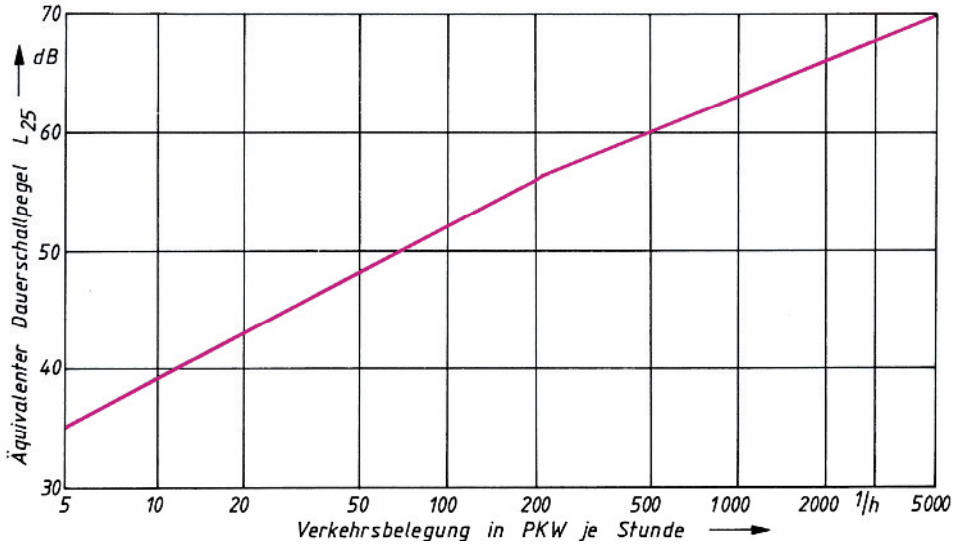


Bild 10.42 Äquivalenter Dauerschallpegel für Straßenlärm

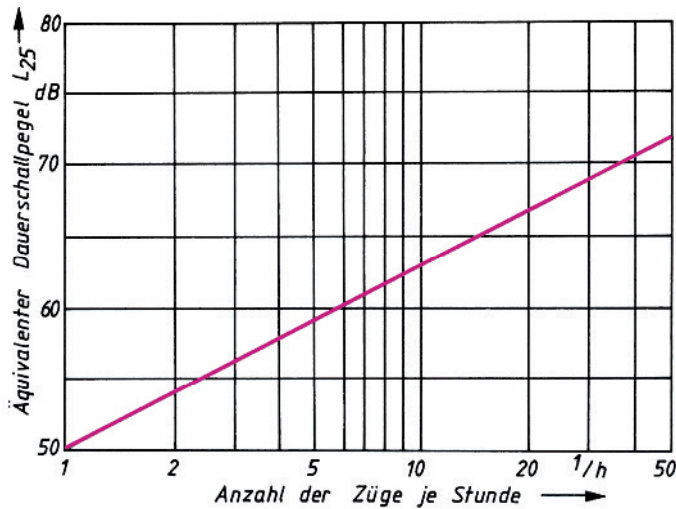


Bild 10.43 Äquivalenter Dauerschallpegel für Schienenverkehr

10.6.2 Entfernungsgesetz

Der entsprechend der Belegungsdichte aus Tabellen oder Nomogrammen entnommene äquivalente Dauerschallpegel gilt für eine Entfernung von 25 m. Zur Lösung praktischer Aufgaben muss er auf beliebige Entfernungen r von der Lärmquelle umgerechnet werden.

Wenn man die Dämpfung des Schalls durch Umwandlung von Schallenergie in Wärme (Dissipation) vernachlässigt, dann hängt die Abnahme des Schallpegels mit der Entfernung noch von der *Form der Lärmquelle* ab.

Eine punktförmige Schallquelle strahlt im homogenen Stoff eine *Kugelwelle* (z. B. eine Halbkugelwelle vom

Zentrum eines Parkplatzes aus) ab bei der sich die abgestrahlte Leistung P auf konzentrische Kugelflächen $A_k = 4\pi r^2$ (vgl. Bild 4.20 (b)) verteilt.

Linienförmige Schallquellen (Länge ℓ) erzeugen *Zylinderwellen* (z. B. dichtbefahrene Straßen und Bahnlinien strahlen Halbzylinderwellen aus), bei denen der Schallstrom senkrecht durch konzentrische Mantelflächen $A_z = 2\pi r \ell$ tritt (Bild 4.20 (c)).

Wegen $P = j_r \cdot A_r = j_{25} \cdot A_{25}$ (vgl. (10.13)) folgt für den Schallpegel in beliebiger Entfernung r

$$L_r = 10 \lg \frac{j_r}{j_0} \text{ dB} = 10 \lg \frac{j_{25} \cdot \frac{A_{25}}{A_r}}{j_0} \text{ dB}$$

bzw.

$$L_r = L_{25} - 10 \lg \frac{A_r}{A_{25}} \text{ dB.} \quad (10.45)$$

Für das Flächenverhältnis in (10.45) kann man setzen

$$\text{Kugelwelle} \quad \frac{A_r}{A_{25}} = \left(\frac{r}{25 \text{ m}} \right)^2,$$

$$\text{Zylinderwelle} \quad \frac{A_r}{A_{25}} = \frac{r}{25 \text{ m}}.$$

Obgleich Züge als linienförmige Schallquellen Zylinderwellen abstrahlen, verwendet man in Bodennähe und bebautem Gelände (wegen der auftretenden Absorption durch die Bebauung) häufig die Beziehung

$$L_r = L_{25} - 17 \lg \frac{r}{25 \text{ m}}.$$

Beispiel 10.16

Für Entfernungen bis zu 100 m kann die Dämpfung bei der Berechnung der Schallpegelabnahme noch vernachlässigt werden. In 75 m Entfernung von einer Straße (Zylinderwelle), die mit 100 PKW/h belegt ist, ergibt sich deshalb aus Bild 10.42 und Gleichung (10.45) ein Schallpegel von

$$L_{75} = L_{25} - 10 \lg \frac{75 \text{ m}}{25 \text{ m}} \text{ dB} = 52 \text{ dB} - 4,8 \text{ dB} \approx 47 \text{ dB}.$$

Genauere Aussagen über die Abnahme der Schallpegel mit der Entfernung erhält man bei Berücksichtigung der **Dissipation** im Ausbreitungsmedium. Die mittlere Stromdichte (Schallstärke) nimmt dann nicht nur infolge des Entfernungsgesetzes (10.45) ab, sondern es muss eine Schwächung entsprechend Gleichung (14.1) berücksichtigt werden.

Die Schallstärke j_r nimmt analog (14.1) vom Bezugsort 25 m aus exponentiell ab

$$j_r = j_{25} e^{-\mu(r-25 \text{ m})}, \quad (10.46)$$

Einheit der Dissipationskonstante $[\mu] = \text{m}^{-1}$.

Das ergibt in (10.45) eine zusätzliche Schallpegelabnahme

$$L_r = L_{25} - 10 \lg \frac{A_r}{A_{25}} \text{ dB} - K(r - 25 \text{ m}) \quad (10.47)$$

mit $K = 10 \text{ dB } \mu \text{ lge}$ als **Dämpfungskonstante**,

Einheit $[K] = \text{dBm}^{-1}$.

μ bzw. K hängen von der Frequenz ab und werden bei Dissipation in Luft durch die Luftfeuchtigkeit und Verunreinigungen beeinflusst. (Dämpfung bei tiefen Tönen kleiner als bei hohen.) Besonders große Dämpfungen treten bei der Schallausbreitung in porösen Stoffen auf (vgl. Körperschall, Abschn. 10.5.5).

Beispiel 10.17

Pegelabnahme bei Dissipation in Luft (Gleichung (10.47), Kugelwelle):

$$K = 0,01 \text{ dBm}^{-1},$$

$$r_1 = 100 \text{ m}, \quad L_1 = L_{25} - 12 \text{ dB} - 0,75 \text{ dB},$$

$$r_1 = 1000 \text{ m}, \quad L_1 = L_{25} - 32 \text{ dB} - 9,75 \text{ dB}.$$

Sind Immissionspegel in einer Entfernung r_1 von der Schallquelle gegeben, kann der Schallpegel in einer Entfernung r berechnet werden, indem in den Gln. (10.45) und (10.47) die für eine Entfernung von 25 m maßgeblichen Größen durch die für r_1 ersetzt werden.

Aufgaben

10.9 Welcher äquivalente Dauerschallpegel ergibt sich in 75 m Entfernung vom Gleiskörper einer Stadtbahn bei einer Belegung mit 30 Zügen/h?

10.10 In 25 m Entfernung von einem Flugzeug besteht ein Schallpegel von 100 dB. Bei welcher Flughöhe kann man am Boden einen Schallpegel von 40 dB erwarten?

(a) „geometrische“ Pegelabnahme.

(b) Berücksichtigung der Dissipation mit einer Dämpfungskonstanten von $0,01 \text{ dBm}^{-1}$.

10.7 Ultraschall

Die hohen Frequenzen von etwa 20 kHz bis zu einigen GHz, in denen man Ultraschall technisch erzeugen kann, führen zu einer Reihe von Besonderheiten und daraus resultierenden Anwendungsmöglichkeiten. Ein Lautsprecher erzeugt Schallstärken von 10^{-5} Wm^{-2} , in einer Ultraschallwelle dagegen kann man (wegen $j \sim \omega^2$) mittlere *Stromdichten* von 400 kW m^{-2} erwarten.

Der *Schallwechseldruck* liegt im MPa-Bereich, was speziell in Flüssigkeiten durch starke Unterdruckphasen zur *Kavitation* (Bildung von Hohlräumen, Dampfblasen) führt; die *Beschleunigungen* ($a \sim \omega^2$) erreichen Werte, welche Größenordnungen über der Erdbeschleunigung liegen; die *Wellenlänge* ($\lambda \sim \omega^{-1}$) des Ultraschalls ist extrem klein, was eine gute Bündelung und geringe Beugung ($d \gg \lambda$) bedeutet.

Beispiel 10.18

Die Zerreißfestigkeit des Wassers (vgl. Abschn. 2.4.2) wurde mit $\sigma_z = 4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ abgeschätzt. Eine Ultraschallwelle ($f = 300 \text{ kHz}$) in Wasser hat die mittlere Stromdichte von 10 W cm^{-2} .

Es ergibt sich mit $Z = 14,5 \cdot 10^5 \text{ Nsm}^{-3}$ aus Gleichung (10.17) eine Schalldruckamplitude von

$$\hat{p} = \bar{p} \cdot \sqrt{2} = \sqrt{j \cdot Z \cdot 2} = 5,4 \cdot 10^5 \text{ Pa} > \sigma_z,$$

d. h., Kavitation tritt auf.

Die *Erzeugung von Ultraschall* geschieht piezoelektrisch (Schwingquarz) oder magnetostruktiv (ferromagnetischer Stab) unter elektrischer Wechselspannung.

Versuch 10.11

Ein im Becherglas unter Wasser versenkter und elektrisch erregter Schwingquarz erzeugt schon bei geringer Leistungsaufnahme einen Ultraschallsprudel mit Kavitationen (*Bild 10.44*).

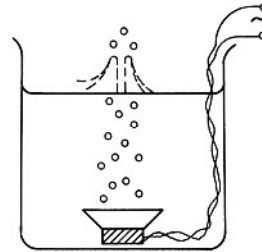


Bild 10.44 Ultraschallsprudel

Die genannten physikalischen Besonderheiten des Ultraschalls ermöglichen eine Vielzahl von *Anwendungen*:

- die Beeinflussung lebender Zellen und Bakterien,
- das Herstellen von Emulsionen,
- die Entgasung von Metallschmelzen,
- das Zerstören der Aluminiumoxidschicht beim Löten,
- das Ultraschallbohren.

Für die *zerstörungsfreie Werkstoffprüfung* werden sowohl Impuls-Echo-Verfahren (Intensitäts- und Laufzeitnderungen durch Inhomogenitäten oder Einlagerungen) als auch Durchstrahlungsverfahren (veränderte Schwächung an Verunreinigungen und Fehlstellen, vgl. Abschn. 14.1.2 Defektoskopie) angewendet. So lassen sich z. B. Schienenkopfprfungen mit einem kontinuierlich arbeitenden Ultraschallverfahren im Frequenzbereich 3 ... 4 MHz durchführen.

Aufgabe

10.11 Für die Ultraschalltechnik in Wasser sollen Aluminiumlinsen als Sammellinsen eingesetzt werden. Muss die Linse konvex oder konkav sein? Wie groß sind die Reflexionsverluste für Aluminium ($\rho = 2720 \text{ kgm}^{-3}$; $c = 5100 \text{ ms}^{-1}$) in Wasser? Welchen Brechungsindex erhält man? .