

Bild 4.38 Mindestgröße von Flächen für spiegelnde Reflexionen (eingetragenes Beispiel: s. Text).

800 Hz, für 45° auf ca. 1000 Hz. Das ist für Sprache zur Verbesserung der Verständlichkeit noch nutzbar. Für Musik müßte die Wirkung bei tiefen Frequenzen durch Vergrößern der Reflektorfläche erhöht werden.

4.1.5.2 Diffuse Reflexionen

Die Gleichmäßigkeit der Verteilung reflektierter Schallstrahlen in alle Raumwinkel („Diffusitätsigel“) [78] kann durch einen **Diffusitätsgrad** gekennzeichnet werden. Statt dessen wird auch ein **Streugrad** verwendet, unter dem das Verhältnis der gestreuten Energie zur Gesamtenergie verstanden wird. Zur gestreuten Energie tragen reflektierte Schallstrahlen bei, deren Ausfallswinkel um mehr als $\pm 10^\circ$ von der Richtung der geometrisch gerichteten Reflexion abweichen. Ein Diffusitätsgrad von 1 bedeutet völlig gleichmäßige Verteilung der Reflexionen; ein Streugrad 1 heißt, daß in Richtung der spiegelnden Reflexionen keine Energie reflektiert wird. Diffusitäts- oder Streugrade 0 kennzeichnen geometrisch gerichtete Reflexionen. Werte praxisüblicher Strukturen liegen dazwischen [79].

Die auf Bild 4.39 dargestellten **rechteckigen, dreieckförmigen oder zylindrischen Strukturen** sind die am häufigsten zum Erzielen einer hohen Diffusität eingesetzten geometrischen Grundformen. Werden diese Strukturen aus dünnem Plattenmaterial (z. B. Sperrholz) gefertigt, so können sie gleichzeitig als wirksame Plattenschwinger genutzt werden

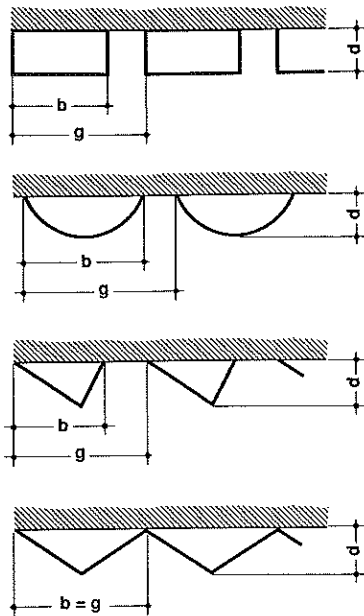


Bild 4.39 Beispiele geometrischer Strukturen für diffuse Reflexionen [80]

b Strukturbreite
 d Strukturtiefe
 g Strukturperiode

(s. Abschn. 4.1.2.2). Der höchste Diffusitätsgrad (ungefähr 0,8) wird in dem Frequenzbereich erzielt, in dem die Strukturperiode g etwa ein- bis zweimal so groß ist wie die Wellenlänge. Eine optimale Frequenz f_{opt} ergibt sich daraus nach

$$f_{\text{opt}} \approx \frac{500}{g} \text{ Hz} \quad (4.31)$$

mit
 g Strukturperiode in m

Die Strukturbreite b sollte zumindest gleich, besser etwas größer als die halbe Strukturperiode gewählt werden. Bei dreieckförmigen und zylindrischen Formen ist ein dichter Anschluß der Strukturen ($b = g$) besonders wirkungsvoll. Für die Strukturtiefe d gilt

$$d \approx (0,3 \text{ bis } 0,5) b \text{ m} \quad (4.32)$$

Soll eine Struktur beispielsweise in dem für Sprache wichtigen Frequenzbereich von 500 bis 1000 Hz optimal wirksam sein, so ist eine Strukturperiode von 0,5 bis 1 m erforderlich. Je nach Art der Struktur ergeben sich aus Gl. (4.32) Strukturturen von 0,1 bis 0,5 m.

Hohe Diffusität der Reflexionen an geometrischen Strukturen ist auf einen engen Frequenzbereich beschränkt. Dieser Bereich umfaßt etwa 1 bis 2 Oktaven, wobei zylindrische und dreieckförmige Formen breitbandiger wirken als rechteckige. Ein breiteres Frequenzgebiet kann durch Kombination von Strukturen erfaßt werden, wie sie Bild 4.40 an einem Beispiel zeigt.

Während der Entwurf diffus reflektierender geometrischer Strukturen üblicherweise Inhalt der speziellen raumakustischen Planung ist, sind Diffusoren, die nach dem Prinzip der $\lambda/2$ -Transformation wirken (**Schroeder-Diffusoren**), als industrielle Erzeugnisse verfügbar. Es handelt sich nach Bild 4.41 um eine Aneinanderreihung verschieden tiefer, kastenförmiger Hohlräume. Größte Strukturtiefe und -breite bestimmen sich aus der niedrigsten Frequenz f_u (in Hz), für die diffuse Reflexionen verlangt werden. Näherungsweise muß

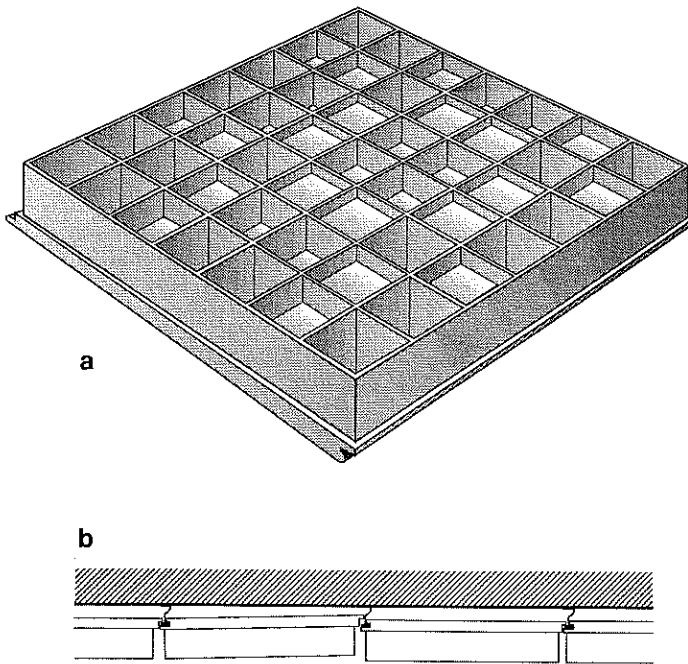


Bild 4.42 In zwei Ebenen wirksamer Schroeder-Diffusor [83]

turen). Für solche Fälle ist die Angabe von Diffusitäts- oder Streugraden unzureichend, vielmehr sind Aussagen über die **Richtcharakteristik der Reflexionen** erforderlich. Diese lassen sich an verkleinerten Modellstrukturen oder auch im Originalmaßstab z. B. in einem reflexionsarmen Raum messen, ähnlich wie für die Bestimmung winkelabhängiger Schallabsorptionsgrade in Abschn. 4.1.4 beschrieben. Bild 4.44 zeigt als Beispiel den Vergleich der

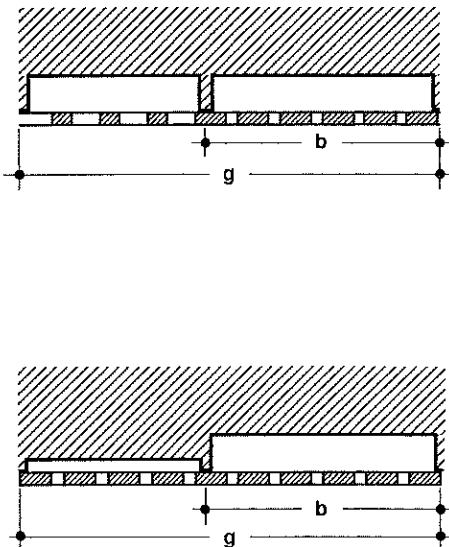


Bild 4.43 Phasengitter aus zwei unterschiedlich aufgebauten Lochplattenschwingern als Diffusor [84]

b Strukturbreite
 g Strukturperiode

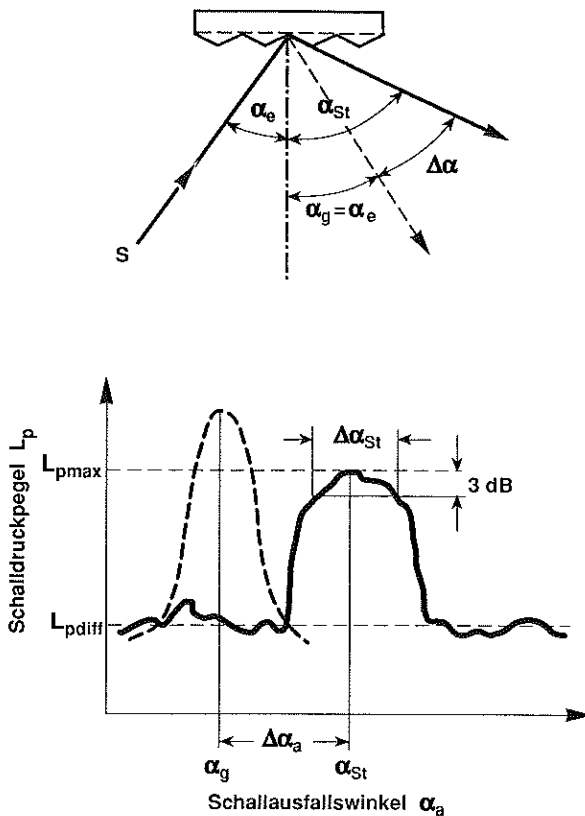


Bild 4.44 Richtcharakteristik von Reflexionen bei spiegelnden und diffusen Anteilen [85]

- α_e Schalleinfallswinkel
- α_a Schallausfallswinkel
- α_g Schallausfallswinkel bei geometrisch gerichteter Reflexion (ebene Fläche)
- α_{St} Schallausfallswinkel an der Struktur (gemischte Reflexionen)
- $\Delta\alpha_a$ Verschiebung des Ausfallswinkels im Vergleich zur ebenen Fläche
- $\Delta\alpha_{St}$ Winkelbereich gleichmäßiger Schallreflexionen
- L_{pmax} maximaler Schalldruckpegel in Vorzugsrichtung der Reflexionen
- L_{pdiff} Schalldruckpegel diffuser Reflexionen

Richtwirkung einer ebenen Vergleichsfläche mit der einer Struktur. Aufgetragen ist der für einen bestimmten Schalleinfallswinkel α_e in definiertem Abstand ermittelte Schalldruckpegel L_p in Abhängigkeit vom Schallausfallswinkel α_a . Es wird deutlich, daß sich bei der Struktur die Hauptabstrahlrichtung um den Winkel $\Delta\alpha_a$ verschoben hat und daß ein zwar geringeres, aber dennoch ausgeprägtes, breiteres Abstrahlmaximum vorhanden ist. Interessante Kenngrößen für die Nutzung solch einer Struktur sind neben der Winkelverschiebung der Hauptabstrahlrichtung vor allem der Winkelbereich etwa gleichmäßiger Schallabstrahlung $\Delta\alpha_{St}$ und die Schallpegeldifferenz $L_{pmax} - L_{pdiff}$ (Diffusitätsabstand). Ist diese kleiner als 3 dB, so ist der Diffusitätsgrad so groß, daß keine Richtwirkung mehr wahrgenommen wird. Werte von mehr als 10 dB charakterisieren geometrisch gerichtete Reflexionen.

Für einige **typische Faltungsstrukturen** finden sich in der Literatur Angaben zu den genannten Kennwerten [85]. Bei geometrisch komplizierten Strukturen wird aber vor einem Einsatz mit raumakustischen Zielstellungen die experimentelle Optimierung der Richtcharakteristik für den jeweiligen Anwendungsfall angeraten.

4.2 Lärmschutzgerechte Planung von Räumen

Die folgenden Abschnitte befassen sich mit der Anwendung der im Abschn. 4.1.2 beschriebenen technischen **Schallabsorber für Schallpegelminderungen in Räumen**. Einsatzmöglichkeiten gibt es vor allem mit dem Ziel, in **Arbeitsräumen** die vorgeschriebenen Lärm-