

Inhalt

1.	Zweck und Anwendung	2
2.	Einschlägige Gesetze, ÖNORMEN und Richtlinien	2
	2.1 Gesetzliche Bestimmungen	2
	2.2 ÖNORMEN	3
	2.3 ÖAL-Richtlinien	3
	2.4 VDI-Richtlinien	3
3.	Erforderliche Daten für die Berechnung	3
	3.1 Schallabsorption in der Halle	3
	3.2 Schalleistungspegel der Maschinen	4
4.	Berechnung der Schallpegelverteilung in einer Halle	6
	4.1 Klassisches Verfahren	6
	4.2 Verfahren von Jovicic	8
	4.3 Literatur zur Berechnung der Schallausbreitung in Hallen	13
5.	Lärmkarten	13
6.	Maßnahmen zur Schallpegelminderung	13
	6.1 Schallpegelminderung durch schallschluckende Raumauskleidung	13
	6.2 Schallpegelminderung durch Abzonung	14
	6.3 Schallschirme	15
	6.4 Schallpegelminderung durch Kapselung	18
	6.5 Schallpegelminderung durch Schalldämpfer	18
	Anhang 1: Verzeichnis der VDI-Richtlinien "Emissionskennwerte technischer Schallquellen"	19
	Anhang 2: Beispiele von Lärmkarten	21
	2.1 Zeichnung einer Lärmkarte mit Linien gleichen Schallpegels in einer Halle	21
	2.2 Computer-Darstellung einer Lärmkarte mit Linien gleichen Schallpegels in 3-dB-Stufen in einer Betriebshalle mit 67 Schallquellen mit unterschiedlicher Schallemission	22

1. Zweck und Anwendung

Bei der Planung der Errichtung von Betriebsanlagen ist es zweckmäßig, die akustischen Eigenschaften von Betriebsräumen und die darin zu erwartende Schallpegelverteilung zu berechnen. Nur dann können gezielt im vorhinein erforderliche Schallminderungsmaßnahmen zum Schutz der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft in wirtschaftlicher Weise geplant werden.

Mit dieser Richtlinie ist es möglich, die akustischen Eigenschaften in geplanten oder bestehenden Hallen und die zu erwartende Schallpegelverteilung durch Lärmquellen zu berechnen.

Diese Richtlinie wendet sich an

- Aufsichtsbehörden
- Industrieplaner
- Sicherheitstechniker
- Konstrukteure, die Lärmprobleme bearbeiten müssen.

2. Einschlägige Gesetze, ÖNORMEN und Richtlinien

2.1 Gesetzliche Bestimmungen

Bundesgesetz vom 30. Mai 1972, BGBl. Nr. 234, über den Schutz des Lebens, der Gesundheit und der Sittlichkeit der Arbeitnehmer (Arbeitnehmerschutzgesetz) in der Fassung der Bundesgesetze, BGBl. Nr. 144/1974, 544/1982 und 393/1986.

Verordnung des Bundesministers für soziale Verwaltung vom 14. Dezember 1973, BGBl. Nr. 39, über die gesundheitliche Eignung von Arbeitnehmern für bestimmte Tätigkeiten.

Verordnung des Bundesministers für soziale Verwaltung vom 11. März 1983, BGBl. Nr. 218, über allgemeine Vorschriften zum Schutz des Lebens, der Gesundheit und der Sittlichkeit der Arbeitnehmer (Allgemeine Arbeitnehmerschutzverordnung - AAV), in der Fassung der Verordnung BGBl. Nr. 43/1986, sowie der Kundmachung BGBl. Nr. 486/1983 (Druckfehlerberichtigung).

Verordnung des Bundesministeriums für Handel und Wiederaufbau und des Bundesministeriums für soziale Verwaltung vom 19. Jänner 1961, BGBl. Nr. 43, über Maschinen, die nur mit Schutzvorrichtungen in den inländischen Verkehr gebracht werden dürfen (Maschinen-Schutzvorrichtungsverordnung).

Bundesgesetz vom 29. November 1973, BGBl. Nr. 50/1974, mit dem Vorschriften über die Ausübung von Gewerben erlassen werden (Gewerbeordnung 1973), in der Fassung der Bundesgesetze BGBl. Nr. 259/1975, 253/1976, 233/1978, 66/1979, 233/1980, 486/1981, 619/1981, 630/1982, 144/1983, 185/1983, 567/1983, 269/1985 sowie die Kundmachungen BGBl. Nr. 379/1978, 101/1986 und 289/1986.

2.2 ÖNORMEN

- B 8115: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau
- S 5031, S 5033 - S 5036 Bestimmung der Schalleistung von Schallquellen
- S 5031: Verfahren im Hallraum
- S 5033: Verfahren im speziellen Hallraum
- S 5034: Verfahren im Freifeld über einer reflektierenden Ebene
- S 5035: Verfahren in reflexionsarmen Räumen
- S 5036: Verfahren am Einsatzort

2.3 ÖAL-Richtlinien

- Nr. 3 (Blatt 1): Beurteilung von Schallimmissionen - Lärmstörungen im Nachbarschaftsbereich
- (Blatt 2): Schalltechnische Grundlagen für die Beurteilung von Lärm - Lärm am Arbeitsplatz
- (Blatt 3): Schalltechnische Grundlagen für die Beurteilung von Lärm - Ermittlung und Kennzeichnung lärmender Arbeitsplätze
- Nr. 12 Geräuscharme Maschinen, allgemeines
- Nr. 13 Persönlicher Schallschutz
- Nr. 20 Lärmschutztechnische Begriffe und Messungen
- Nr. 25 Schalltechnische Grundlagen für die Kennzeichnung der Geräuschabgabe von Maschinen und Geräten

2.4 VDI-Richtlinien

- 2567: Schalldämpfer
- 2569: Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro
- 2570: Lärminderung in Betrieben - Allgemeine Grundlagen
- 2711: Schallschutz durch Kapselung
- 2720 (Blatt 2): Schallschutz durch Abschirmung in Räumen

3. Erforderliche Daten für die Berechnung

3.1 Schallabsorption in der Halle

Die akustischen Eigenschaften einer Halle werden durch ihre äquivalente Schallabsorptionsfläche beschrieben. Sie kann aus den Hallenabmessungen und den Schallschluckgraden der Raumbegrenzungsflächen errechnet werden nach

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n + A_E + A_L + A_P \quad (1)$$

A äquivalente Schallabsorptionsfläche in m^2

S Fläche einer Raumbegrenzung in m^2

α zugehöriger Schallabsorptionsgrad (dimensionslos)

A_E äquivalente Absorptionsfläche der Einrichtung (z.B. Maschinen) in m^2

A_L äquivalente Absorptionsfläche des Luftraumes in m^2

$$A_L = 4 m V \quad (m \text{ siehe Tabelle 2})$$

A_p äquivalente Absorptionsfläche von n Personen im Raum mit dem Schallabsorptionsgrad α_p

$$A_p = n \cdot \alpha_p \quad (\alpha_p \text{ siehe ÖAL-Richtlinie 17})$$

Bei bestehenden Hallen kann die äquivalente Schallabsorptionsfläche auch bestimmt werden durch die Messung der Nachhallzeit T und Berechnung des Raumvolumens V aus

$$A = \frac{0,16 \cdot V}{T} \quad (2)$$

A äquivalente Schallabsorptionsfläche in m^2

V Hallenvolumen in m^3

T Nachhallzeit in Sekunden

Die Nachhallzeit ist die Zeit, die vergeht, bis der Schallpegel nach Abschalten der Schallquelle um 60 dB abgefallen ist.

Bei existierenden Hallen ist eine Messung der Nachhallzeit vorzuziehen.

Die äquivalente Absorptionsfläche ist frequenzabhängig. Es soll daher eine Messung oder eine Rechnung in den Oktavbändern 125 bis 4 000 Hz durchgeführt werden (eine Messung oder Rechnung in Terzbändern ist für Industriehallen nicht erforderlich). Nur wenn für alle Maschinen in der Halle das Maximum der Schallabgabe zwischen 500 und 2 000 Hz liegt, und der mittlere Absorptionsgrad in der Halle in diesem Bereich nur um ca. $\pm 20\%$ variiert, kann mit dem A-bewerteten Schallpegel gerechnet werden.

Die Messung der Nachhallzeit wird in Anlehnung an ÖNORM S 5104 "Bauakustische Messungen, Messung des Schallabsorptionsgrades im Hallraum" durchgeführt. Es ist darauf zu achten, daß mehrere Schallquellen- und Mikrofonpositionen verwendet werden.

Die Schallabsorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen können aus Tabellen (z.B. Schallabsorptionsgrad-Tabelle, Beuth-Verlag) entnommen werden, bzw. aus Zeugnissen über Meßergebnisse an einzelnen Ausstattungsstoffen.

3.2 Schalleistungspegel der Maschinen

Die Geräuschabgabe der Lärmquellen in einer Halle wird durch deren Schalleistungspegel beschrieben.

Der Schalleistungspegel gibt die von der Schallquelle abgestrahlte Schalleistung im logarithmischen Pegelmaß in Dezibel über der international einheitlich festgelegten Bezugsschalleistung von 1 Picowatt ($=10^{-12}$ Watt) an:

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (3)$$

L_W Schalleistungspegel in dB

W Schalleistung in Watt

W_0 Bezugsschalleistung in Watt ($W_0 = 10^{-12}$ Watt)

Aus dem Schalleistungspegel kann für jede Entfernung der Schalldruckpegel berechnet werden (Entfernung größer als Maschinenabmessungen). Steht die Maschine in einer Halle, so ist der Schalldruckpegel auch von der äquivalenten Absorptionsfläche abhängig.

Der Schalleistungspegel kann in Oktaven, aber auch nur A-bewertet angegeben werden.

Bei Neuplanungen sollte darauf geachtet werden, daß die Schalleistungspegel der Maschinen bekannt sind. Sind die Werte nicht vorhanden, können sie an vorhandenen Maschinen gemessen werden.

Die Schalleistungspegel gelten bei Maschinen mit schwankender Schallemission als energetisches Mittel über einen Betriebszyklus.

3.2.1 Messung des Schalleistungspegels

Die Messung des Schalleistungspegels kann nach den ÖNORMEN S 5031 und S 5033 bis 5036 durchgeführt werden.

3.2.2 Werte aus der Literatur

Für verbreitete Maschinentypen sind in den VDI-Richtlinien "Emissionskennwerte technischer Schallquellen" Angaben über den Schalleistungspegel zusammengestellt (siehe Verzeichnis in Anhang 1).

3.2.3 Abschätzung aus Angaben des Schalldruckpegels

Wird der Schalldruckpegel in einer bestimmten Entfernung angegeben,¹⁾ kann daraus näherungsweise der Schalleistungspegel berechnet werden, sofern die Maschinenabmessungen bekannt sind.

Die Angaben gelten meist bei freier Schallausbreitung; eine Berechnung des Schalleistungspegels kann dann erfolgen nach

$$L_W = L + 10 \lg S \quad (4)$$

L_W Schalleistungspegel in dB

L Schalldruckpegel im Meßabstand r vom Maschinenumriß in dB

S gedachte Fläche im Meßabstand r vom Maschinenumriß in m^2 ; ihr Ausmaß errechnet sich aus den Abmessungen des Maschinenumrisses zuzüglich der Meßentfernung (vgl. dazu ÖNORM S 5034 oder S 5036 und das Beispiel in Anhang 2).

Sofern Ergebnisse von Messungen in einer Halle vorliegen, kann durch Anwendung der Formel (7) bei bekannten raumakustischen Parametern der Schalleistungspegel L_W errechnet werden.

1) Angaben des Schalldruckpegels ohne Meßentfernung sind unbrauchbar.

Diese geschilderten Verfahren sollen nur dann verwendet werden, wenn z.B. in Prospekten nur eine Pegelangabe mit einer Meßentfernung steht oder eine Maschine in einer Halle gemessen wurde. Vorzugsweise sollte versucht werden, die Angabe des Schalleistungspegels zu erhalten oder den Schalleistungspegel selbst normgemäß zu messen.

4. Berechnung der Schallpegelverteilung in einer Halle

4.1 Klassisches Verfahren (mit Grenzen für den Einsatz)

Der Schalldruckpegel, der durch eine Lärmquelle in einem Punkt einer Halle entsteht, ergibt sich aus dem direkt von der Schallquelle zu diesem Punkt gelangenden Schall (Direktschall) und aus dem über vielfache Reflexionen dorthin gelangenden Schall (Nachhallschall).

Der Schalldruckpegel des direkten Schallanteils ergibt sich aus

$$L_d = L_W - 10 \lg S \quad (5)$$

L_d Schalldruckpegel des direkten Schallanteils in dB

L_W Schalleistungspegel in dB

$S = 4 \pi r^2$ soferne die Schallquelle frei im Raum hängt²⁾

$S = 2 \pi r^2$ soferne die Schallquelle auf dem reflektierenden Boden steht²⁾

$S = \pi r^2$ soferne die Schallquelle auf dem reflektierenden Boden vor einer reflektierenden Wand steht²⁾

$S = \frac{\pi}{2} r^2$ soferne die Schallquelle in einer Ecke steht (3 reflektierende Flächen)

r Abstand von der Schallquelle (akustisches Zentrum) in m

Der Schalldruckpegel des Nachhallschalls ergibt sich aus

$$L_N = L_W - 10 \lg A + 6 \quad (6)$$

L_N Schalldruckpegel des Nachhallschalls in dB

L_W Schalleistungspegel in dB

A äquivalente Absorptionsfläche in m^2

Der Gesamtschallpegel einer Schallquelle ergibt sich aus der energetischen Addition der beiden Schallpegel nach Gleichung (5) und (6) oder nach

$$L = L_W + 10 \lg \left(\frac{1}{S} + \frac{4}{A} \right) \quad (7)$$

2) Die verschiedenen Faktoren ergeben sich aus der Berücksichtigung der Spiegelschallquellen (1. Ordnung)

Sind mehrere Lärmquellen in einer Halle, so wird für jede dieser Schallquellen der Schalldruckpegel an dem betrachteten Aufpunkt bestimmt, anschließend werden die einzelnen Schalldruckpegel addiert nach

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{L_i / 10} \quad (8)$$

Für größere Entfernungen r von der Schallquelle wird S sehr groß und der Direktschall sehr klein³⁾ und die Formel geht über in die Formel (6) für den Nachhallschall

$$L = L_N = L_W - 10 \lg A + 6$$

diese kann geschrieben werden mit

$$L = L_W - 10 \lg A + 6 = L_W + 10 \lg \frac{T}{V} + 14 = L_W + 10 \lg T - 10 \lg V + 14 \quad (9)$$

L Schalldruckpegel im Nachhallschallfeld in dB

L_W Summe der Schalleistungspegel aller Maschinen in dB

A äquivalente Absorptionsfläche in m^2

T Nachhallzeit in Sekunden

V Hallenvolumen in m^3

Den nach dieser Formel berechneten Schalldruckpegel kann man als mittleren Hallenpegel betrachten.

Die diesen Formeln zugrundeliegende Überlegung geht davon aus, daß das Nachhallschallfeld in der ganzen Halle gleich ist (unabhängig vom Abstand von der Schallquelle). Das ist bei kubischen Hallen (Abmessungen in allen 3 Achsen etwa gleich), die meist relativ klein sind, etwa erfüllt. In langen und flachen Hallen stimmt diese vereinfachte Überlegung relativ gut (+ 3 dB), wenn

- das Absorptionsmaterial einigermaßen gleich verteilt ist (z.B. nicht nur eine Raumbegrenzung absorbierend belegt)
- in einer Halle mehrere Lärmquellen im Raum verteilt stehen
- Raumabmessungen (Länge, Breite, Höhe) nicht zu verschieden voneinander sind (Verhältnis bis 1:3).

Die Abnahme des Nachhallschallpegels mit der Entfernung wird vorzugsweise durch die Streuung an der Halleneinrichtung hervorgerufen, die in der einfachen Rechnung vernachlässigt wird. Die Berechnung nach dem klassischen Verfahren liegt daher auf der sicheren Seite.

3) Direktschall und Nachhallschall sind im Abstand des Hallradius gleich groß. Der Hallradius hängt von der Absorptionsfläche im Raum ab nach

$$r_H = 0,14\sqrt{A}$$

r_H Hallradius in m

A Schallabsorptionsfläche in m^2

Für Abstände $r > r_H$ ist der Schalldruckpegel durch den Nachhallschall bestimmt.

Lange Hallen besitzen eine Achse, die vielfach (wenigstens 3- bis 5fach) größer als die beiden anderen Achsen ist. In größerem Abstand von einer Schallquelle führen Absorptions- und Streuvorgänge an Wänden und Streukörpern zu einem exponentiell abklingenden Schallfeld. Die zugehörige Pegelabnahme ist je Längeneinheit konstant.

Flache Hallen besitzen eine Achse, in der Regel die Hallenhöhe, die vielfach (wenigstens 3- bis 5fach) kleiner als die beiden anderen Achsen ist. Reflexionen zwischen Fußboden und Decke führen, je nach Absorptionsgrad, zu Schallpegelabnahmen mit 3 bis 8 dB je Entfernungsverdopplung von einer Schallquelle. Schallstreuungen an Maschinen, Regalen usw. verstärken das Schallfeld in der näheren Umgebung einer Quelle und bedingen eine exponentielle Schwächung in großem Abstand.

Als grobe Näherung kann dienen, daß bei Industriehallen ohne zusätzliche raumakustische Maßnahmen eine zusätzliche Pegelminderung von 2 dB pro Entfernungsverdopplung resultiert. Ist die Decke hochschallabsorbierend belegt, so beträgt die zusätzliche Pegelminderung 4 dB pro Entfernungsverdopplung.

Als Abschätzung kann man mit Formel (5) bis zum Hallradius ($r < r_H$) rechnen, für $r > r_H$ wird nach Formel (6) gerechnet und von dem errechneten Schalldruckpegel ein Wert abgezogen, der 2 bzw. 4 dB pro Entfernungsverdopplung entspricht.

Da der Formalismus dieser Rechnung relativ einfach ist, ist eine Realisierung auf Tisch- und programmierbaren Taschenrechnern möglich.

4.2 Verfahren von Jovicic (adaptiert für Flachhallen)

Eine Flachhalle ist ein sehr häufiger Fall; er liegt vor, wenn die Höhe weniger als 1/3 der kleineren Raumabmessung beträgt.

4.2.1 Absorptionsflächen

Es wird mit 2 Absorptionsflächen gerechnet:

$$A = (\alpha_B + \alpha_D) \cdot L \cdot B \quad (10)$$

α_B Absorptionsgrad des Bodens

α_D Absorptionsgrad der Decke

L Länge in m

B Breite in m

A_W Absorptionsfläche der anderen 4 Raumbegrenzungsflächen

4.2.2 Streukörper

Maschinen, Einrichtungen, Baukörper u. ähnl. (in der Halle) sind als Streukörper zu berücksichtigen über der Streukörpergrenzfrequenz, die sich errechnet nach

$$f = \frac{170}{u} \quad (11)$$

f Frequenz in Hz, über der ein Körper als Streukörper wirksam ist
u kleinster Umfang in m

Flächeninhalt von Streukörpern S_{St} :

Bei einfachen geometrischen Formen von Streukörpern wird bei der Ermittlung des Flächeninhaltes die tatsächliche Oberfläche zugrunde gelegt. Bei komplizierten Formen ist die Hüllfläche des Streukörpers zugrunde zu legen (kleine herausragende Teile oder Hohlräume werden vernachlässigt).

Für die vereinfachende Berechnung der Schallpegel in Räumen mit annähernd gleichmäßig verteilten Streukörpern wird der Gesamtflächeninhalt S_{St} von allen Streukörpern ermittelt.

Die Absorptionsfläche der Streukörper A_{St} ergibt sich aus dem Gesamtflächeninhalt S_{St} und dem Absorptionsgrad der Streukörper α_{St} .

$$A_{St} = S_{St} \cdot \alpha_{St} \quad (12)$$

Erfahrungsgemäß kann für Maschinen $\alpha_{St} = 0,02$ bis $0,04$ eingesetzt werden; in größeren Hallen für die Metallbearbeitung mit Streukörpern aus Maschinen, Regalen, Erzeugnissen und Abfällen kann $\alpha_{St} = 0,1$ gesetzt werden.

Die Absorptionsfläche der Streukörper wird zu der Absorptionsfläche von Boden und Decke dazugezählt

$$A = (\alpha_B + \alpha_D) \cdot L \cdot B + A_{St} \quad (13)$$

Hieraus errechnet man den mittleren Schallabsorptionsgrad

$$\alpha = \frac{A}{2 \cdot L \cdot B}$$

4.2.3 Schalldruckpegel einer Schallquelle

Der Schallpegel des Direktschalls wird nach Formel (5) berechnet.

Dieser Schalldruckpegel kann (auch bei einer freien Schallausbreitung) im Nahbereich nicht unterschritten werden.

Der Schallpegel L_F im Fernbereich einer Schallquelle wird sowohl durch den direkten als auch durch den Schall bestimmt, der vom Raumbegrenzungsflächenpaar mit der Absorptionsfläche A reflektiert wird (von Decke und Fußboden einschließlich Streukörper). Dieser ist

$$L_F = L_W + L_\alpha + L_D + L_R - 10 \lg S + 11 \quad (15)$$

L_α ist aus Bild 1 zu entnehmen in dB

L_D ist aus Bild 2 zu entnehmen in dB

darin ist r der Abstand des Aufpunktes von der Schallquelle und h die Raumhöhe

L_R Berücksichtigung von Reflexionen nach Tabelle 1 in dB

S für den Abstand von der Schallquelle berechnet gemäß Formel (5) in m^2

Wenn der Aufpunkt in der Nähe (in weniger als 1,5 m Abstand) von Raumbegrenzungsflächen oder Raumkanten liegen, ist die Reflexion von dieser Raumbegrenzungsfläche zu berücksichtigen; vorausgesetzt, daß die in Betracht kommenden Raumbegrenzungsflächen wenig absorbieren, ist dem Schalldruckpegel - je nach Lage des Aufpunktes - ein Pegel bis zu 9 dB zuzuzählen (L_R gemäß Tabelle 1).

Tabelle 1

Lage des Aufpunktes	L_R (dB)
vor einer Wand	3
vor einer Kante	6
vor einer Ecke	9

Die Berechnung des Schalldruckpegels L_F einer Schallquelle kann u.U. zu kleine Werte liefern, wenn der Beobachtungspunkt in der Nähe einer Schallquelle liegt. In diesem Fall handelt es sich um Nahbereich. Es ist dann L_d nach Formel (5) zu berechnen. Wieweit sich der Nahbereich einer Schallquelle erstreckt, hängt von vielen Parametern ab. Mit Sicherheit liegt der Nahbereich dann vor, wenn der Abstand zwischen der Schallquelle und dem Beobachtungsstandpunkt kleiner ist als ein Drittel der Höhe. Im allgemeinen kann dies auch aus Bild 1 festgestellt werden, wenn $L_D - L < - 11$ dB ist.

4.2.4 Gesamtschallpegel

Der Gesamtschallpegel L_{ges} an einem Aufpunkt in der Halle ergibt sich aus der Summe der Schallpegel L_F aller n Schallquellen und dem nachstehend definierten Schallpegel L_g , der die Reflexionen höherer Ordnung berücksichtigt.

$$L_{ges} = L_g + \sum_{i=1}^n 10^{F_i} / 10 \quad (16)$$

L_{ges} Gesamtschallpegel in dB in einem Aufpunkt

L_{F_i} Schallpegel in dB der i -ten Schallquelle berechnet für den Aufpunkt

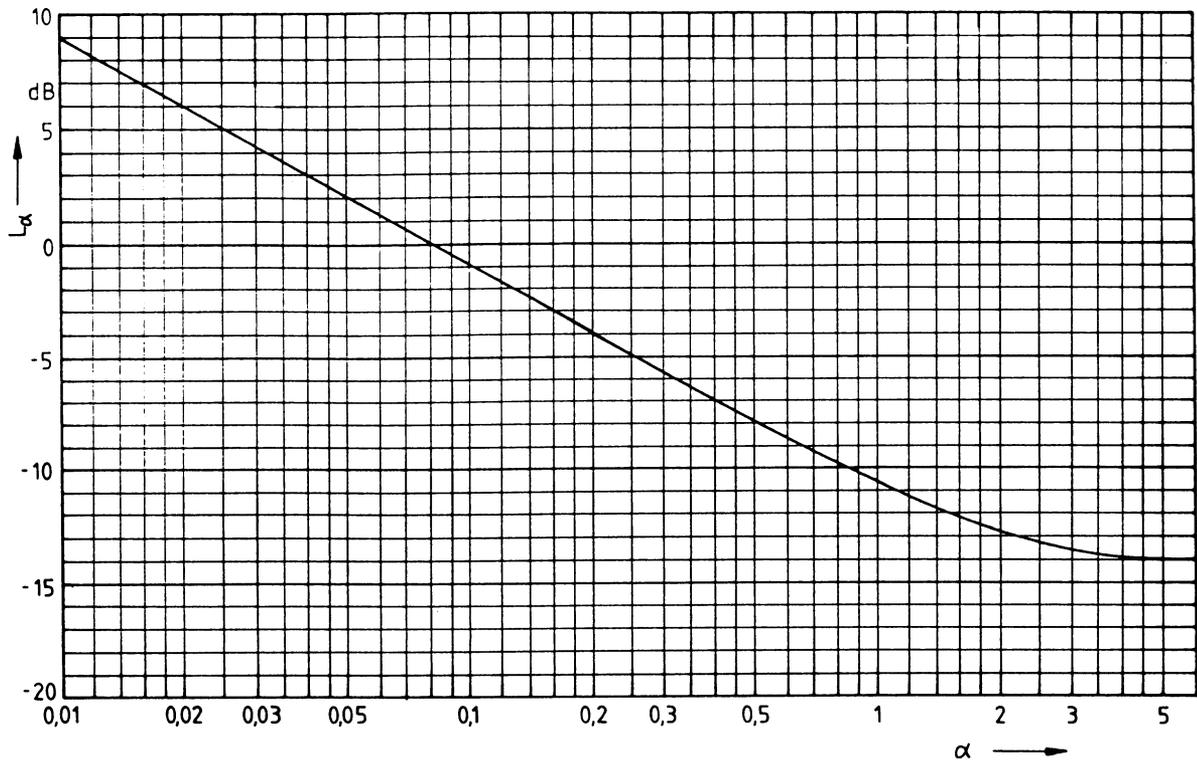


Bild 1: Werte von L_α zu Formel (15)

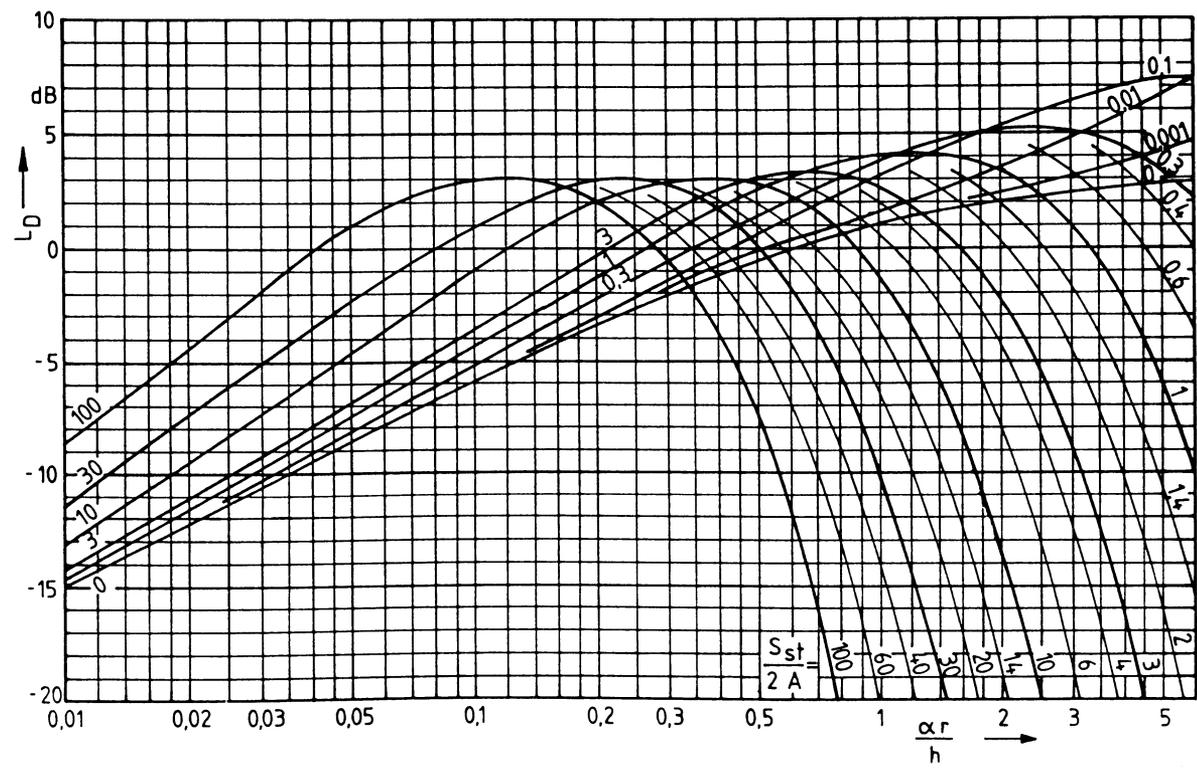


Bild 2: Werte von L_D zu Formel (15)

$$L_g = L_w + L_G - 10 \lg A + 6 \quad (17)$$

L_w Summe der Schalleistungspegel aller Schallquellen in einer Halle in dB

A äquivalente Absorptionsfläche in m^2 der zur Raumbezugsachse normalen Raumbegrenzungsflächen

L_G Kennwert in dB, abzulesen in Bild 3 mit den folgenden Parametern:

A_w äquivalente Absorptionsfläche in m^2 der übrigen Raumbegrenzungsflächen

S_{St} gesamte Fläche der Streukörper in m^2

α_{St} mittlerer Schallabsorptionsgrad der Streukörper

m Dämpfungskoeffizient der Luft in $1/m$ ist in Tabelle 2 angeführt

V Hallenvolumen in m^3

Tabelle 2
Produkt $4m$ für die Temperatur $20^\circ C$ nach Harris

Frequenz (Hz)	relative Luftfeuchtigkeit in %					
	20	30	40	50	70	90
125	0,00043	0,00037	0,00033	0,00030	0,00026	0,00023
250	0,00092	0,00080	0,00074	0,00069	0,00060	0,00055
500	0,00221	0,00189	0,00170	0,00157	0,00138	0,00124
1 000	0,00557	0,00474	0,00424	0,00387	0,00341	0,00313
2 000	0,01704	0,01187	0,01037	0,00960	0,00851	0,00764
4 000	0,05803	0,03794	0,02870	0,02444	0,02131	0,01962
8 000	0,188	0,128	0,094	0,076	0,057	0,050

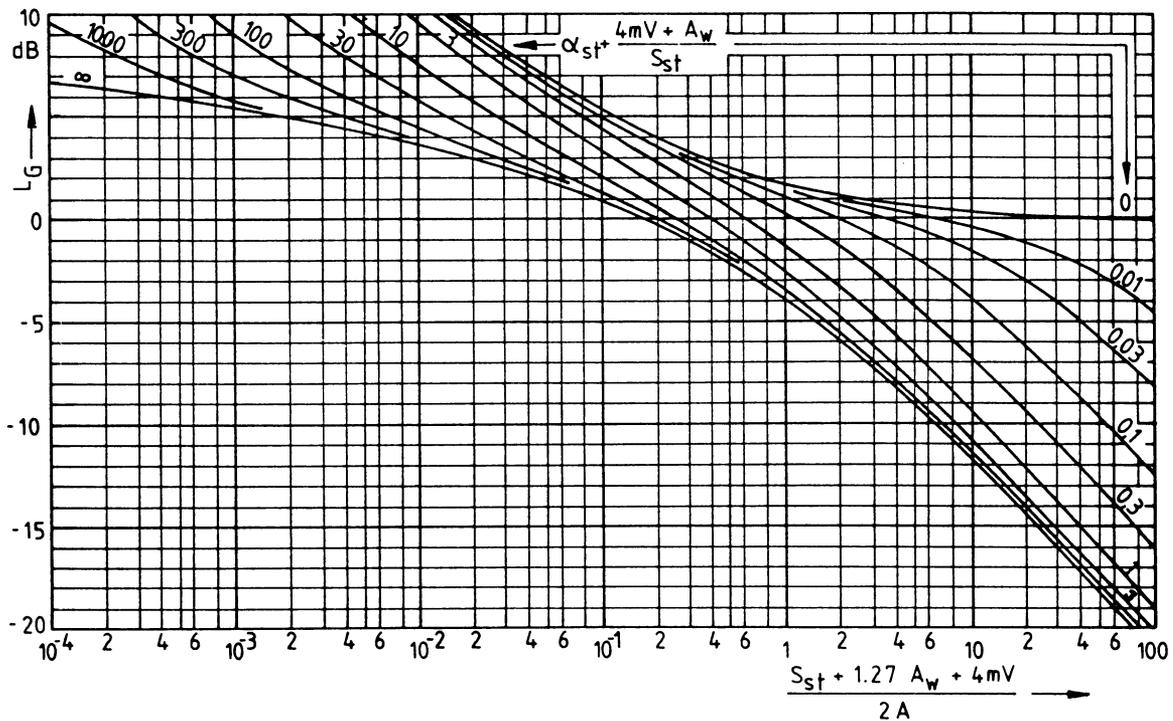


Bild 3: Kennwert L_G zu Formel (17)

4.3 Literatur zur Schallausbreitung in Hallen

- Bschorr, O.: Berechnung der Lärmverteilung in Arbeitsräumen; VDI-Bericht 291/1977
- Jeske, W.: Schallausbreitung in langen, leeren Werkshallen; Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 79, 197-207 (Jahrgang 1970)
- Jovicic, S.: Untersuchungen zur Vorherbestimmung des Schallpegels in Betriebsgebäuden; Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen 2151 (Jahrgang 1973)
- Kraak, W./Jeske, W.: Schallausbreitung in flachen Werkshallen mit Streukörpern; Hochfrequenz und Elektroakustik 80, 32-37 (Jahrgang 1971)
- Lazarus, H.: Schallausbreitung in Fabrikshallen; Forschungsbericht Nr. 173 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund
- Lübcke, E./Gober, H.-J.: Schallausbreitung in Fabrikshallen; Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen 1364 (Jahrgang 1964)
- Schmidt, H.: Schallausbreitung und Schalldämpfung in Werkshallen; wksb H. 19 (1985 a) und H. 20 (1986 a)
- Stahel, W./Braune, B.: Sound Absorption and Noise Screens in large Industrial Halls; Inter-noise Proceedings 1977/Vortrag B 104

5. Lärmkarten

Die Aufzeichnung der nach Punkt 4 ermittelten Schallpegelwerte erfolgt zweckmäßigerweise in einem Hallenplan. Eine wesentlich bessere Verdeutlichung der Schallpegelverteilung erfolgt durch das Einzeichnen von Linien gleichen Schallpegels. Auch bei Schallpegelmessungen in einer Halle empfiehlt sich die Zeichnung von Lärmkarten aus den Meßresultaten. Das Ergebnis spricht den Betrachter besser an als Zahlenwerte und außerdem werden durch die Zeichnung von Linien gleichen Schallpegels Ausbreitungstendenzen sichtbar, die die verursachenden Lärmquellen eindeutig identifizieren.

Beispiele vergleiche Anhang 2.

6. Maßnahmen zur Schallpegelminderung

6.1 Schallpegelminderung durch schallschluckende Raumauskleidung

Da die Schallabsorptionsfläche in einer Halle den Schallpegel wesentlich bestimmt, kann durch eine Vergrößerung der äquivalenten Absorptionsfläche in einer Halle mit zusätzlicher absorbierender Auskleidung der Schallpegel in der Halle vermindert werden.

Die Schallpegelminderung im Nachhallschallfeld (außerhalb der Hallradien der Lärmquellen) errechnet sich aus:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{A_2}{A_1} \quad (18)$$

ΔL Schallpegelminderung in dB

A_2 äquivalente Absorptionsfläche nach der zusätzlichen Auskleidung in m^2

A_1 äquivalente Absorptionsfläche vorher in m^2

Um die Wirkung einer Auskleidung an einzelnen Punkten genauer abschätzen zu können, ist für diese Punkte der Schallpegel nach (7) mit A_1 und A_2 zu berechnen.

Eine akustische Auskleidung bringt nur eine Verbesserung außerhalb des Hallradius für die jeweilige Lärmquelle.

Die Schallabsorptionsfläche in einer Betriebshalle ist jedenfalls so zu bemessen, daß die Anforderung nach ÖNORM B 8115, Teil 3, erfüllt ist.

6.2 Schallpegelminderung durch Abzonung

Wenn eine lautstarke Maschine eine ganze Halle verlärmte, so kann durch bauliche Maßnahmen der Schallpegel im restlichen Hallenteil gesenkt werden.

Die Berechnung des Schallpegels erfolgt nach

$$L_2 = L_1 - R + 10 \lg \frac{S}{A} \quad (19)$$

L_2 mittlerer Schallpegel im Empfangsraum in dB

L_1 mittlerer Schallpegel im Senderraum in dB

R Schalldämmmaß der Trennwand in dB

S Wandfläche der Trennwand in m^2

A äquivalente Absorptionsfläche im Empfangsraum in m^2

Der Schallpegel L_1 ist nach Formel (6) zu berechnen.

Das Schalldämmmaß R ist frequenzabhängig. Es kann Prüfzeugnissen entnommen werden oder dem Katalog des Bundesministeriums für Bauten und Technik (siehe auch ÖAL-Richtlinie Nr. 28).

Üblicherweise wird in Oktaven gerechnet. Für überschlägige Berechnungen bei mittelfrequenterem Lärm (500 bis 1 000 Hz) kann mit dem bewerteten Schalldämmmaß R_w und dem A-bewerteten Schallpegel gerechnet werden. Für einschalige Wände gilt:

$$R_w = 32,4 \cdot \lg m - 26 \quad (20)$$

R_w bewertetes Schalldämmmaß in dB

m flächenbezogene Masse der Wand in kg/m^2

(anzuwenden für $100 < m < 500$)

Wenn eine Trennwand aus unterschiedlichen Elementen aufgebaut ist (z.B. Wand mit Türe) so kann das resultierende Schalldämmmaß folgendermaßen berechnet werden:

$$R_{\text{res}} = -10 \lg \left[\frac{1}{\sum F_i} \sum F_i 10^{-R_i/10} \right] \quad (21)$$

R_{res} resultierendes Schalldämmmaß in dB

R_i Schalldämmmaß der einzelnen Bauteile in dB

F_i Fläche der einzelnen Bauteile in m^2

6.3 Schallschirme

Durch Schallschirme wird der direkte Schall vermindert, der Nachhallschall wird dadurch nicht verändert. Für den Nachhallschall ist ein Schallschirm nur dann von Bedeutung, wenn der Schirm absorbierend belegt ist und dadurch die Absorptionsfläche der Halle größer wird.

Die Verminderung des direkten Schallanteils L_d (Formel 5) wird berechnet mit Hilfe des Schirmwertes z gemäß Formel (22) (vgl. dazu Bild 4).

Die Schallpegelminderung ist frequenzabhängig und muß daher in den einzelnen Oktaven getrennt berechnet werden und daraus die Minderung des A-bewerteten Schallpegels. Um die Minderung des A-bewerteten Schallpegels ohne Rechnung in den einzelnen Oktaven abzuschätzen, kann mit 500 Hz gerechnet werden.

$$L_d = -10 \lg \left[\frac{1}{20N_v+3} + \frac{1}{20N_r+3} + \frac{1}{20N_l+3} \right] \quad \text{für } N_v > -0,1 \quad (22)$$

N_v , N_r , N_l sind Hilfsgrößen mit dem Schallumweg z_v , z_r , z_l in der vertikalen Ebene und über die rechte und linke Schirmkante (vgl. Bild 4a)

Der Nachhallschall ergibt sich gemäß Formel (6).

Die Schirmwirkung ist nur gegeben, wenn nicht Reflexionen von naheliegenden Bauteilen wirksam sind. Schallschirme in Räumen sollten daher nur in Verbindung mit absorbierender Verkleidung von Decken und Wänden eingesetzt werden; nur für diesen Fall kann die obenstehende Berechnung der Schirmwirkung angewendet werden. Sofern reflektierende Bauteile vorhanden sind, ist ΔL_d gemäß Bild 5 abzumindern und ΔL_e einzusetzen.

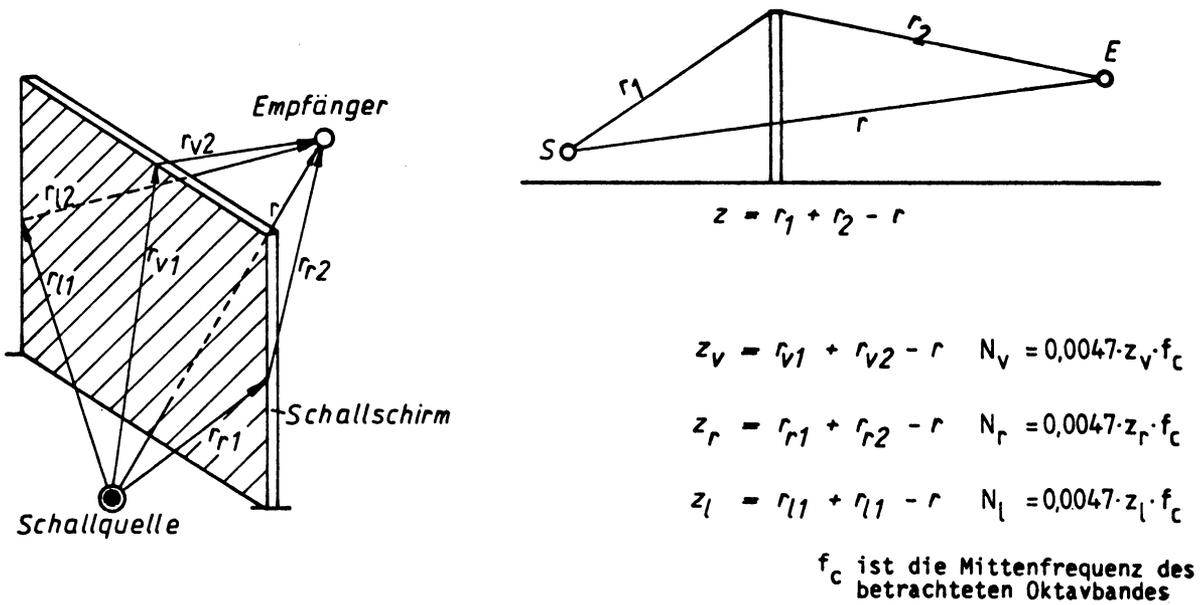
Eventuell kann bei der Berechnung der Schirmwirkung die Spiegelschallquelle berücksichtigt werden (vgl. Bild 4b).

Der Schallpegel des Direktschalls $L_d - \Delta L_d$ oder $L_d - \Delta L_e$ und des Nachhallschalls sind im Aufpunkt energetisch zu addieren (Formel (8)).

Auch die Streukörper im Raum reduzieren die Schirmwirkung.

Die rechnerisch nach vorstehender Formel ermittelte Schallpegelminderung wird daher in realen Hallen praktisch nicht ganz erreicht.

a) Zur Ermittlung der Werte z und N von Schallschirmen



b) Berücksichtigung einer reflektierenden Fläche bei der Berechnung der Schallpegelminderung durch einen Schirm

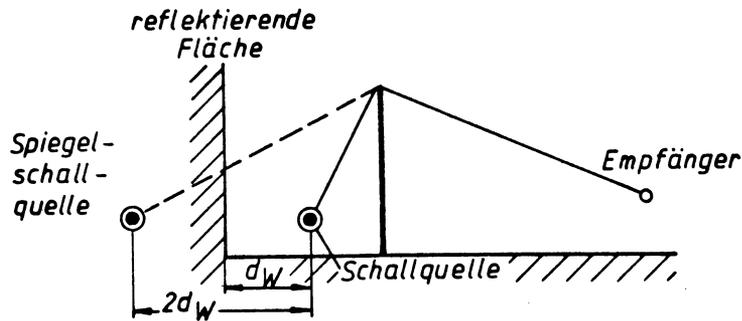


Bild 4: Wirkung von Schallschirmen

Die Wirkung eines Schallschirms in einer flachen Halle hängt wesentlich vom Absorptionsgrad der Decke ab. Die praktisch zu erzielende Schallpegelminderung ΔL_e am Aufpunkt kann je nach Absorptionsgrad der Decke zu dem rechnerisch ermittelten Wert von ΔL_d aus Bild 5 ermittelt werden. Der Parameter α' ist der Schallabsorptionsexponent, der sich aus dem Schallabsorptionsgrad zu $\alpha' = -\ln(1 - \alpha)$ errechnet.

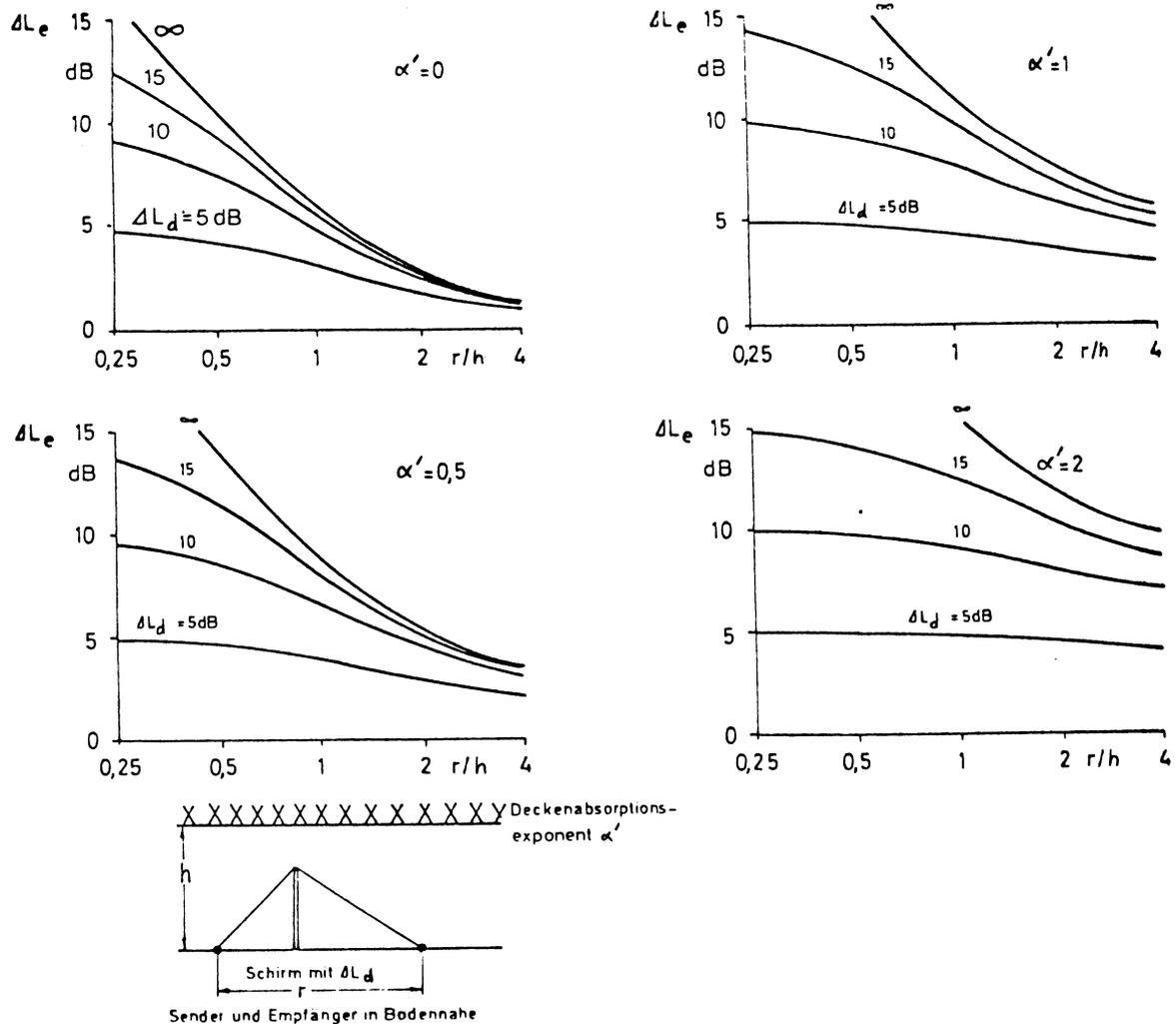


Bild 5: Schirmwirkung in Abhängigkeit von der Schallabsorption der Decke

Literatur zur Berechnung der Abschirmung in Räumen:

Kurze, U.: Erfahrungen mit Schallschirmen in Arbeitsräumen; Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund; Bericht Nr. 168 (1977)

VDI-Richtlinie VDI-2720 "Schallschutz durch Abschirmung in Räumen"

6.4 Schallpegelminderung durch Kapselung

Kapseln bestehen meist aus Stahlblech oder Spanplatten. Wichtig ist immer eine Auskleidung mit Schallschluckstoff. Wenn z.B. eine Blechkapsel innen nicht ausgekleidet ist, so wird die Dämmung um 20 dB vermindert (Annahme Schallschluckgrad von Blech=0,01). Durchführungen von Rohren und Wellen sind gut abzudichten, soweit betrieblich möglich, oder es sind Schalldämpferstrecken vorzusehen.

Bezüglich der Auslegung von Kapseln sei auf die VDI-Richtlinie VDI-2711 "Schallschutz durch Kapselung" verwiesen.

6.5 Schallpegelminderung durch Schalldämpfer

Schalldämpfer werden dort verwendet, wo die Schallweiterleitung unterbunden werden muß ohne aber den Medientransport (Luft, Dampf) zu behindern.

Für nähere Informationen ist die VDI-Richtlinie VDI-2567 "Schallschutz durch Schalldämpfer" zu empfehlen.

Anhang 1: Verzeichnis der VDI-Richtlinien "Emissionskennwerte technischer Schallquellen"

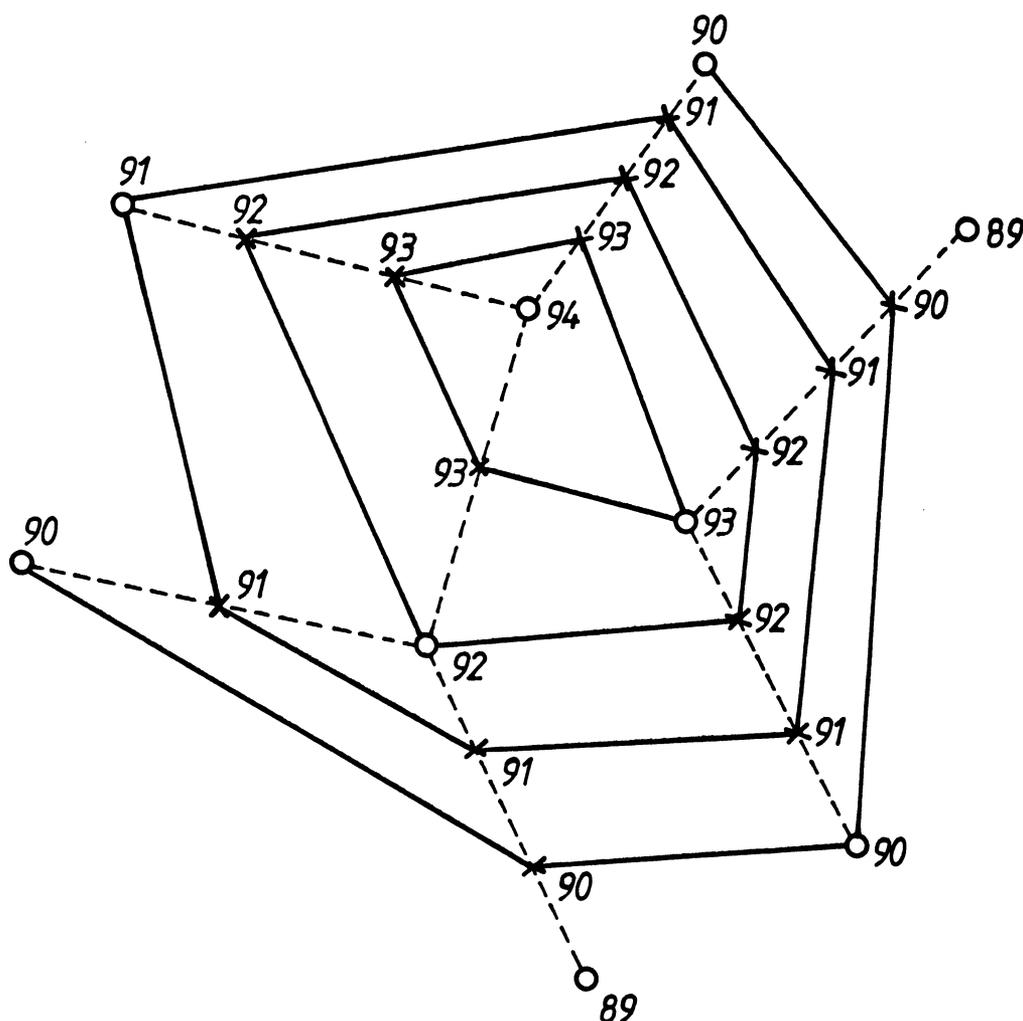
3729 Bl. 1E	Emissionskennwerte technischer Schallquellen. Büromaschinen; Schreibmaschinen
3729 Bl. 2E	-. -; Vervielfältigungsmaschinen und Kopiergeräte
3729 Bl. 3E	-. -; Abrechnungsmaschinen und Registrierkassen
3729 Bl. 4E	-. -; Postbearbeitungsmaschinen
3730	-. Prozeßöfen
3731 Bl. 1E	-. Verdichter
3731 Bl. 2	-. Ventilatoren
3732	-. Fackeln
3734 Bl. 1	Emissionskennwerte technischer Schallquellen. Rückkühlanlagen; Luftkühler
3734 Bl. 2	-. -; Kühltürme
3735	-. Zerkleinerungsmaschinen
3736 Bl. 1	-. Umlaufende elektrische Maschinen; Asynchronmaschinen
3737 Bl. 1	-. Elektrische Geräte für den Hausgebrauch; Rahmen-Richtlinie
3737 Bl. 2	-. -; Küchenmaschinen: Rührer und Knetter, Mixer
3737 Bl. 3	-. -; Geschirrspülmaschinen
3737 Bl. 4	-. -; Staubsauger
3737 Bl. 5	-. -; Waschmaschinen
3737 Bl. 6	-. -; Wäschetrockner
3737 Bl. 7	-. -; Kühl- und Gefriergeräte
3737 Bl. 8	-. -; Dunstabzugshauben
3738	-. Stellglieder für strömende Gase und Flüssigkeiten
3739 E	-. Transformatoren
3740 Bl. 1E	-. Holzbearbeitungsmaschinen; Hobelmaschinen für einseitige Bearbeitung (Blatt 1 als Rahmen-Richtlinie in Vorbereitung)
3740 Bl. 2	-. -; Hobelmaschinen für einseitige Bearbeitung
3740 Bl. 3	-. -; Tischkreissägemaschinen
3740 Bl. 4	-. -; Tischfräsmaschinen
3740 Bl. 5	-. -; Doppelendprofiler
3740 Bl. 6	-. -; Zwei- und mehrseitige Hobel- und Fräsmaschinen
3741	-. Maschinen in Flaschen-Abfüllanlagen
3742 Bl. 1	-. Spanende Werkzeugmaschinen; Drehmaschinen
3742 Bl. 2	-. -; Fräsmaschinen
3742 Bl. 3	-. -; Wälzfräsmaschinen
3742 Bl. 4	-. -; Kaltkreissägemaschinen
3742 Bl. 5	-. -; Schleifmaschinen
3742 Bl. 6	-. -; Bohrmaschinen
3743 Bl. 1E	-. Pumpen; Kreiselpumpen
3746	Emissionskennwerte technischer Schallquellen. Getriebe
3747	-. Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen
3748	-. Handkettensägemaschinen
3749 Bl. 1	-. Druckluft-Werkzeuge und -Maschinen; Rahmen-Richtlinie
3749 Bl. 2	-. -; Schlagende Werkzeuge

- 3749 Bl. 3 -. -; Bohrhämmer und Hammerbohrmaschinen
- 3750 -. Hydrokomponenten
- 3751 Geräuschemission von verfahrenstechnischen Anlagen der chemischen, petrochemischen und Mineralölindustrie
- 3752 Bl. 1 Emissionskennwerte technischer Schallquellen.
Umformmaschinen, Mehrzweckpressen, Schneidpressen

Anhang 2: Beispiele der Zeichnung von Lärmkarten

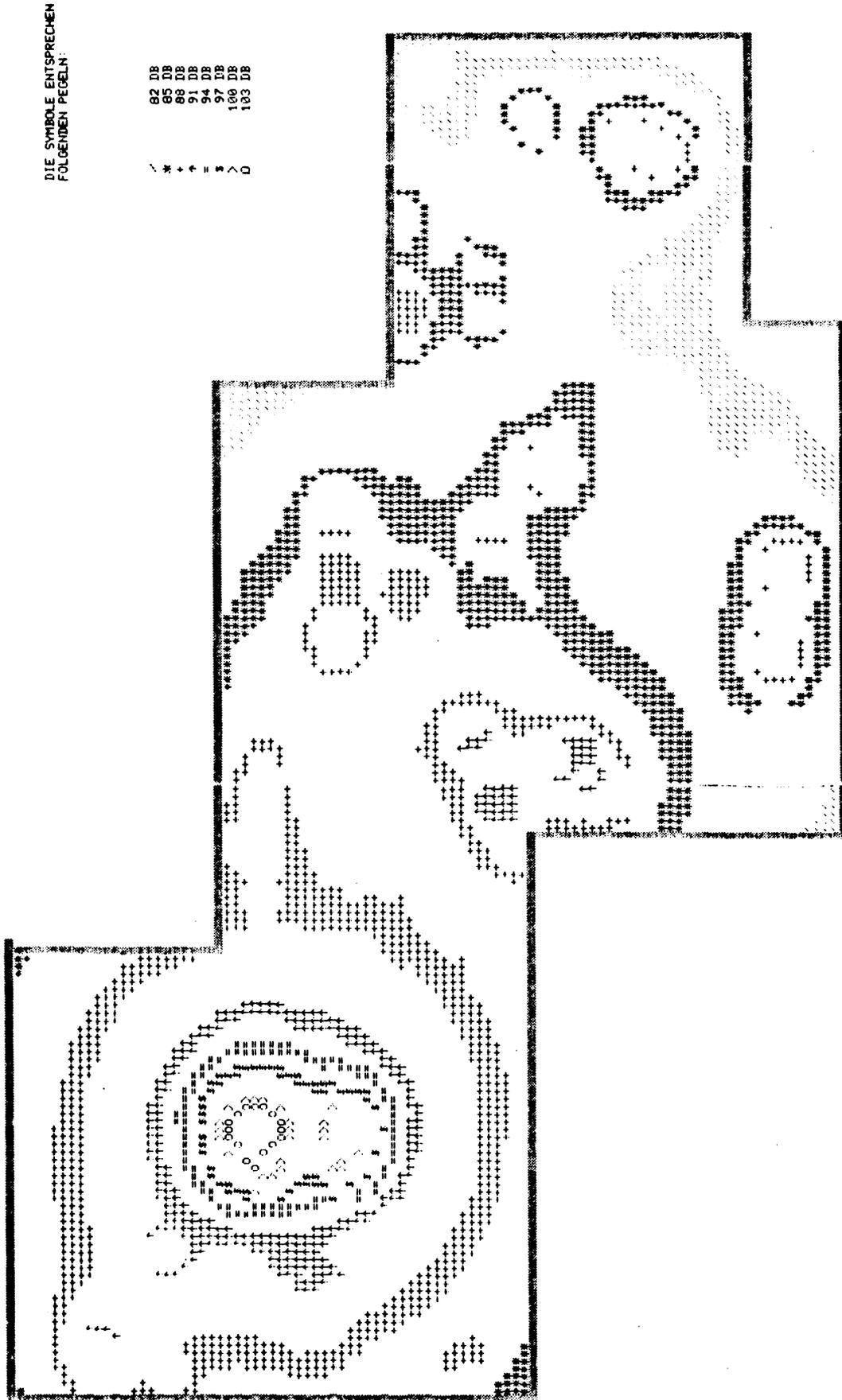
2.1 Zeichnung einer Lärmkarte mit Linien gleichen Schallpegels in einer Halle

Eine graphische Verarbeitung der errechneten (oder auch gemessenen) Schallpegel ist zweckmäßig. Die Zeichnung von Linien gleichen Schallpegels kann mit der nachstehend dargestellten Methode erfolgen. Das vorgeschlagene Verfahren geht von einem Hallenplan mit eingezeichneten Schallpegelwerten aus. Die einzelnen Aufpunkte (gerechnete und gemessene Schallpegelwerte) werden mit Linien verbunden. Je nach Lage der Punkte empfehlen sich Vierecke oder Dreiecke. Auf den Verbindungslinien wird linear interpoliert. Die Punkte gleichen Schallpegels werden dann verbunden. Dieses Verfahren eignet sich auch für irregulär verteilte Aufpunkte.



- Punkte an denen der Schallpegel gegeben ist
- × interpolierte Punkte
- Linien gleichen Schallpegels

2.2 Computer-Darstellung einer Lärmkarte mit Linien gleichen Schallpegels in einer Betriebshalle mit 67 Schallquellen mit unterschiedlicher Schallemission.



VERZEICHNIS DER ÖAL - RICHTLINIEN

Nr. 3	B1. 1: BEURTEILUNG VON SCHALLIMMISSIONEN Lärmstörungen im Nachbarschaftsbereich SCHALLTECHNISCHE GRUNDLAGEN FÜR DIE BEURTEILUNG VON LÄRM	(5. Ausg./1986)
	B1. 2: Lärm am Arbeitsplatz	(4. Ausg./1974)
	B1. 3: Ermittlung und Kennzeichnung lärmender Arbeitsplätze	(1. Ausg./1977)
	B1. 4: Schieblärm in der Nachbarschaft	(1. Ausg./1980)
Nr. 6	GESUNDHEITSBEEINTRÄCHTIGUNG DURCH LÄRM	(3. Ausg./1972)
Nr. 9	LÄRMMINDERUNG IN BETRIEBEN - Grundlagen	(1. Ausg./1982)
Nr. 10	SCHALLTECHNISCHE GRUNDLAGEN FÜR DIE ERRICHTUNG BZW. ERWEITERUNG VON BETRIEBSANLAGEN	(3. Ausg./1986)
Nr. 11	DIE RECHTLICHEN GRUNDLAGEN FÜR DIE LÄRMBEKÄMPFUNG + Ergänzungsblatt 1	(5. Ausg./1976)
Nr. 13	PERSÖNLICHER SCHALLSCHUTZ	(2. Ausg./1979)
Nr. 14	BERECHNUNG DES SCHALLPEGELS IN BETRIEBSHALLEN	(1. Ausg./1987)
Nr. 15	SICHERUNG DER NACHTRUHE	(1. Ausg./1963)
Nr. 18	DIE ÄRZTLICHE BEGUTACHTUNG VON STÖRUNGEN DURCH LÄRM	(1. Ausg./1968)
Nr. 19	SCHALLTECHNISCHE GRUNDLAGEN FÜR DIE BEURTEILUNG VON BAULÄRM	(2. Ausg./1980)
Nr. 20	SCHALLSCHUTZTECHNISCHE BEGRIFFE UND MESSUNGEN	(1. Ausg./1987)
Nr. 21	SCHALLTECHNISCHE GRUNDLAGEN FÜR DIE ÖRTLICHE UND ÜBERÖRTLICHE RAUMPLANUNG	(1. Ausg./1972)
	B1. 2: Erstellung von Lärmkarten	(1. Ausg./1977)
	B1. 3: Beispiele für die Praxis	(1. Ausg./1982)
	B1. 4: Lärmkataster	(1. Ausg./1985)
	B1. 5: Widmungskategorien	(1. Ausg./1987)
Nr. 23	MASSNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR STRASSENVERKEHRSLÄRM Planungsgrundlagen	(2. Ausg./1983)
	B1. 2: Lärmschutzwände	(1. Ausg./1987)
Nr. 24	LÄRMSCHUTZ IN DER UMGEBUNG VON FLUGPLÄTZEN - Planungs- und Berechnungsgrundlagen	(1. Ausg./1984)
Nr. 25	SCHALLTECHNISCHE GRUNDLAGEN FÜR DIE KENNZEICHNUNG DER GERÄUSCHABGABE VON MASCHINEN UND GERÄTEN + Beiblatt	(2. Ausg./1983)
Nr. 26	SCHALLTECHNISCHE GRUNDLAGEN FÜR DEN LÄRMSCHUTZ IM WOHNUNGSBAU	(1. Ausg./i.V.)
Nr. 27	ANFORDERUNGEN AN DEN SCHALLSCHUTZ VON FENSTERN BEI DER VERGABE VON FÖRDERUNGSMITTELN	(1. Ausg./1983)
Nr. 28	SCHALLABSTRAHLUNG VON INDUSTRIEANLAGEN	(1. Ausg./1987)
Nr. 29	KRITERIEN FÜR LÄRMARME LASTKRAFTWAGEN UND OMNIBUSSE	(1. Ausg./1987)
Nr. 30	MASSNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR SCHIENENVERKEHRSLÄRM	(1. Ausg./i.V.)
Nr. 31	ZUR RICHTIGEN ANGABE VON SCHALLTECHNISCHEN GRÖSSEN IN PROSPEKTEN	(1. Ausg./i.V.)
Nr. 32	LÄRMSCHUTZ IN KURORTEN UND FREMDENVERKEHRSORTEN Anforderungen und Maßnahmen	(1. Ausg./i.V.)
Nr. 33	SCHALLSCHUTZTECHNISCHE BEURTEILUNG VON GASTHÄUSERN UND DISKOTHEKEN	(1. Ausg./i.V.)