



Industrielle Raumakustik

Information für Planer, Architekten und Ingenieure

Diese Publikation behandelt die Lärmausbreitung in industriellen Bauten. Mithilfe raumakustischer Massnahmen lässt sich Lärm entscheidend reduzieren. Planer, Architekten oder Ingenieure bekommen hier wichtige Hinweise zur Optimierung der Raumakustik.

1 Einleitung	4	5 Lärmprognosen für Räume	22
2 Raumakustische Grundlagen	6	5.1 Übersicht	22
2.1 Schallausbreitung	6	5.2 Klassische Berechnung der Nachhallzeiten	22
2.2 Schallabsorptionsgrad	6	5.2.1 Berechnungsgrundlagen	22
2.3 Nachhallzeit	6	5.2.2 Beispiel	22
2.4 Äquivalente Schallabsorptionsfläche	7	5.2.3 Berechnung der Grunddaten	22
2.5 Schallpegelreduktion durch raumakustische Massnahmen	8	5.2.4 Berechnung des Schallschluckvermögens	23
2.6 Pegelabnahme DL2	8	5.2.5 Berechnung der Nachhallzeiten	24
2.6.1 Einführung	8	5.3 Berechnung der Nachhallzeiten mit einem Computerprogramm	24
2.6.2 Normen und Richtlinien für DL2	9	5.4 Berechnung der Schallausbreitungskurve SAK und Bestimmung von DL2	25
2.6.3 Die Ermittlung von DL2 aus Messdaten	10	5.5 Beurteilung der Berechnungsergebnisse	25
2.6.4 Die rechnerische Ermittlung von DL2 für Prognosen	11	5.5.1 Vergleich	25
3 Anforderungen	13	5.5.2 Interpretation	26
3.1 Wahl der Kenngrössen	13	5.6 Mittlerer Absorptionsgrad $\bar{\alpha}_s$	26
3.2 Mittlerer Absorptionsgrad $\bar{\alpha}_s$	13	5.7 Prognosen für die Schallpegelverteilung	27
3.3 Nachhallzeiten	14	5.8 Zusammenfassung	28
3.4 Pegelabnahme DL2	14	6 Stellwände	29
4 Praktische Lösungsmöglichkeiten	15	6.1 Einleitung	29
4.1 Grundsätzliche Varianten	15	6.2 Akustische Wirkung einer Stellwand	29
4.2 Hinweise zur Anwendung von Schallabsorptionsmaterialien	15	6.3 Anforderungen an eine Stellwand	29
4.3 Planung von Neubauten	16	6.4 Wirksamkeit einer Stellwand	30
4.3.1 Profilblechdächer	16	6.5 Berechnungsbeispiel	31
4.3.2 Nebenräume	17	6.6 Beispiele aus der Praxis	31
4.3.3 Platten für Wärmedämmung und Schallabsorption kombiniert	17	6.7 Zusammenfassung	31
4.4 Sanierungen	18	7 Schlussbemerkung	33
4.5 Mittelwerte für die Absorptionsgrade	18		
4.6 Kosten	19		
4.7 Beispiele	19		

1 Einleitung

Die Publikation «Industrielle Raumakustik» behandelt das Problem der Lärmausbreitung in industriellen Bauten. Mithilfe von raumakustischen Massnahmen lässt sich die Lärmausbreitung entscheidend reduzieren. In jüngster Zeit haben sich bezüglich der Methoden zur Lärmbeurteilung und der rechtlichen Bestimmungen verschiedene Änderungen ergeben. Diese finden Sie hier in der aktuellen Überarbeitung. Die Publikation richtet sich an Planer, Architekten oder Ingenieure und gibt wichtige Hinweise für die raumakustisch korrekte Auslegung von Industriebauten.

Durch raumakustische Massnahmen werden Reflexionen an den Hallenbegrenzungsflächen (Decke, Wände) reduziert. Dies führt zu einem geringeren Grundpegel und zu einer Verminderung des Lärmpegels an den Arbeitsplätzen, deren Geräuschpegel hauptsächlich durch die Schalleinwirkung von benachbarten Arbeitsplätzen bestimmt wird.

Was sind die Gründe für den Einbau von raumakustisch günstigen, schallabsorbierenden Materialien?

1. Das Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG) vom 20. März 1981 enthält in Artikel 82, Absatz 1 allgemeine Vorschriften über die Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten.

Der Arbeitgeber ist verpflichtet, zur Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten alle Massnahmen zu treffen, die nach der Erfahrung notwendig, nach dem Stand der Technik anwendbar und den gegebenen Verhältnissen angemessen sind.

Diese Gesetzesbestimmung wird konkretisiert in Artikel 34, Absatz 1 (Lärm und Vibrationen) der Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (VUV) vom 19. Dezember 1983:

Gebäude und Gebäudeteile müssen so gestaltet sein, dass die Sicherheit und die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht durch Lärm oder Vibrationen gefährdet werden.

2. Im Arbeitsgesetz (ArG vom 13. März 1964) regelt Art. 6 die Pflichten der Arbeitgeber und Arbeitnehmer im Bereich der Gesundheitsvorsorge.

In Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3 vom 18. August 1993) werden in Art. 2 die grundsätzlichen Anforderungen festgelegt. Der Arbeitgeber muss alle Massnahmen treffen, die nötig sind, um den Gesundheitsschutz zu wahren und zu verbessern und die physische und psychische Gesundheit der Arbeitnehmer zu gewährleisten.

Art. 22 befasst sich speziell mit den Lärmproblemen:

Lärm und Vibrationen sind zu vermeiden oder zu bekämpfen. Zum Schutz der Arbeitnehmer sind insbesondere folgende Vorkehrungen zu treffen:

- a) bauliche Massnahmen
- b) Massnahmen an Betriebseinrichtungen
- c) Isolation oder örtliche Abtrennung der Lärmquelle
- d) Massnahmen der Arbeitsorganisation

Die Wegleitung ArGV 3 enthält konkrete tätigkeitsbezogene Lärmrichtwerte, raumakustische Anforderungen und Richtwerte für Hintergrundgeräusche. Mit der überarbeiteten Auflage von Mitte 2006 wurde die Formulierung für die Erfüllung der raumakustischen Richtwerte verschärft. Seither müssen in Räumen, in denen ständige Arbeitsplätze vorhanden sind, die entsprechenden Richtwerte erfüllt sein.

Im Juni 2020 wurde das gesamte Kapitel «Lärm» grundlegend überarbeitet. Unter anderem wurden gesonderte Anforderungen an die raumakustischen Richtwerte für industrielle und gewerbliche Arbeitsplätze einerseits sowie für Büro- und Laborräume andererseits definiert.

3. Beim Bau moderner Räume werden vielfach ausschliesslich schallharte Materialien verwendet (z. B. Beton, Glas, Profibleche usw.). Die Räume wirken ohne raumakustische Massnahmen sehr laut und hallend (Bild 1). Arbeitsplätze in solchen Hallen sind allgemein unbeliebt.

Raumakustische Massnahmen werden von den Arbeitnehmern als bedeutend wirksamer empfunden, als dies die Pegelreduktion ausdrückt.



1 Typische Fabrikationshalle ohne raumakustische Massnahmen (sehr viel Hall).

Der Lärm von weiter entfernten Lärmquellen wird erheblich reduziert. Der einzelne Mitarbeitende ist praktisch nur noch von arbeitsplatznahe Lärm betroffen. Zudem hat er vielfach direkten Einfluss auf diese ihm bekannten Geräusche und beurteilt sie deshalb als weniger störend als einen diffusen Hallenpegel, bei dem keine Zuordnung zu den Schallquellen möglich ist. Ruhigere Arbeitsplätze erlauben eine ungestörtere Kommunikation und belasten das Gehör logischerweise weniger.

4. Raumakustische Massnahmen bilden seit Jahren einen festen Bestandteil der Lärmbekämpfung. Die Wirkung dieser Massnahmen kann durch eine Vielzahl ausgeführter Beispiele belegt werden.

5. Wärmedämmung und Schallabsorption lassen sich bei einer optimalen Planung kombinieren, so dass wesentliche Kosteneinsparungen möglich sind. Wenn raumakustische Massnahmen in die Planung einbezogen werden, lassen sich damit Kosten einsparen. Nachträgliche Massnahmen sind immer aufwändiger.

6. Raumakustische Massnahmen sind notwendig, damit Stellwände akustisch wirksam sind. Stellwände sind keine Alternative zu raumakustischen Massnahmen, sondern eine sinnvolle Ergänzung.

Fazit:

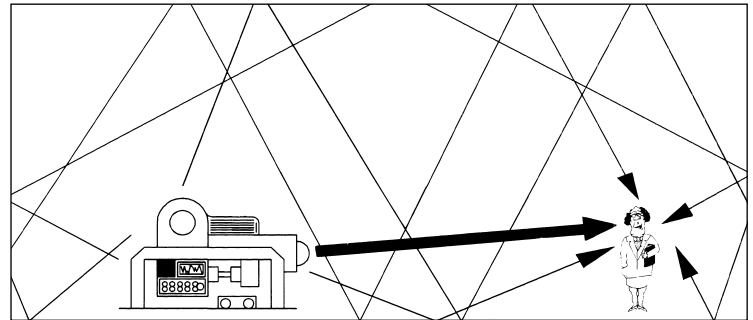
Planen Sie bei neuen oder wesentlich umgebauten Industriehallen und Produktionsräumen raumakustische Massnahmen mit ein (z. B. eine einfache Akustikdecke). Sie gehören zum heutigen Stand der Industriearchitektur. Prüfen Sie für bestehende, raumakustisch laute Räume eine Sanierung.

Das Akustikteam der Suva ist gerne behilflich bei der Beurteilung raumakustischer Probleme. Adressen von Spezialisten für raumakustische Massnahmen finden Sie in den Firmenverzeichnissen www.sga-ssa.ch oder www.laerm.ch.

2 Raumakustische Grundlagen

2.1 Schallausbreitung

Wenn sich von einer Geräuschquelle ausgehende Schallwellen in einer Halle ausbreiten und dabei auf eine Raumbegrenzungsfläche treffen, werden diese reflektiert. Das Direktschallfeld der Geräuschquelle wird überlagert vom Raumschallfeld, das aus reflektierten Schallanteilen besteht (Bild 2).



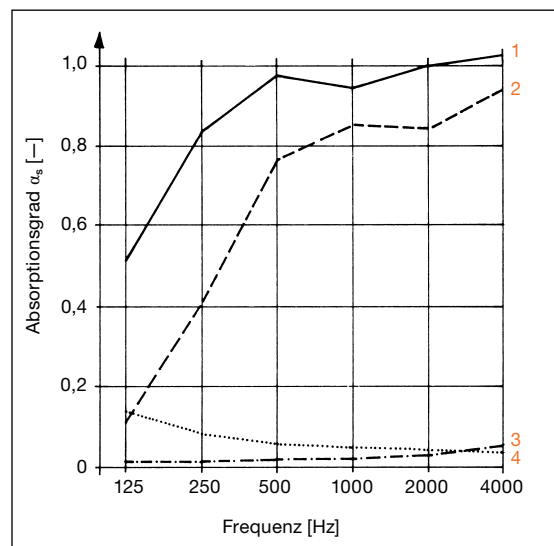
2 Direkter und reflektierter Schall in einer Halle.

2.2 Schallabsorptionsgrad

Der Schallabsorptionsgrad, kurz auch als Absorptionsgrad mit dem Kurzzeichen α_s bezeichnet, ist eine wichtige Größe für die raumakustische Planung. Mit ihm wird das Vermögen eines Materials, auftreffende Schallwellen zu absorbieren, angegeben (Bild 3).

Der Absorptionsgrad wird in einem so genannten Hallraum experimentell bestimmt und frequenzabhängig angegeben (üblicherweise in den Terzbändern 100 bis 5000 Hz, zur Übersicht auch nur in den Oktavbändern 125 bis 4000 Hz).

Beispiele für frequenzabhängige Absorptionsgrade sind in Ziff. 4.5 zusammengestellt.



3 Beispiele von Absorptionsgraden α_s in Abhängigkeit von der Frequenz.

- 1 Mineralfaserplatten
- 2 Holzwolle-Leichtbauplatten
- 3 Beton, roh
- 4 Metallprofilblech

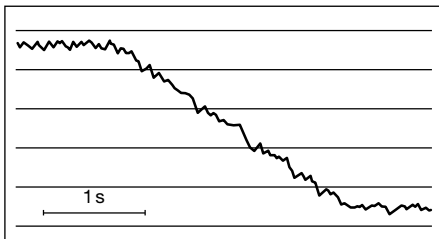
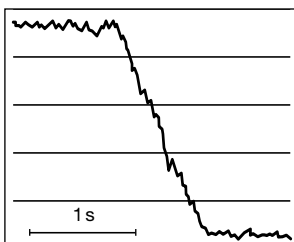
2.3 Nachhallzeit

Die Nachhallzeit ist die älteste und in vielen Fällen zugleich auch die wichtigste Beurteilungsgröße in der Raumakustik. Mit ihrer Hilfe kann man das Absorptionsvermögen eines Raumes beurteilen. Die Nachhallzeit kann berechnet und – mit einigem Aufwand – auch gemessen werden. Der Schall breitet sich unabhängig von der Frequenz mit gleicher Geschwindigkeit aus (Schallgeschwindigkeit $c = \text{ca. } 340 \text{ m/s}$).

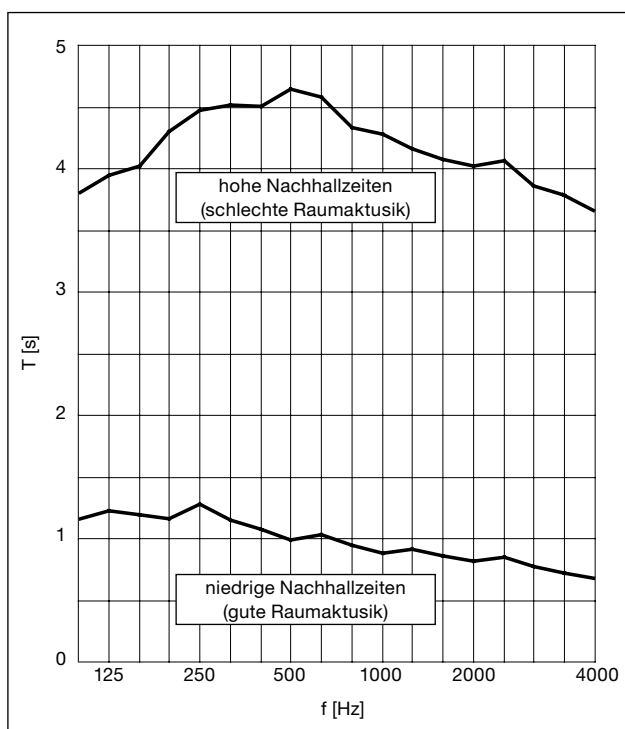
Stellt man in einem geschlossenen Raum eine Schallquelle und ein Mikrophon auf, so legen die Reflexionen über die Raumbegrenzungsflächen einen längeren Weg zurück und treffen deshalb später auf das Mikrophon als der Direktschall.

Wird die Geräuschquelle abgeschaltet, vermindert sich der vom Mikrophon gemessene Schalldruck zuerst um den Direktschall, dann kontinuierlich auch um die Reflexionen. Die im Raum vorhandenen Reflexionen nehmen allmählich ab, bis die gesamte Energie von den Begrenzungsflächen absorbiert ist. Die Zeitdauer dieses Vorganges steht in einem direkten Zusammenhang mit dem Absorptionsvermögen des Raumes (Bild 4) und ist wie der Absorptionsgrad α_s frequenzabhängig. Sie wird als Nachhallzeit T bezeichnet.

Die Nachhallzeit T wird definiert als diejenige Zeit, in der ein Schalldruckpegel nach beendeter Schallsendung um 60 dB abfällt. Bei einer schlechten Raumakustik ergibt sich deshalb eine lange, bei einer guten Raumakustik (gute Absorption) eine kurze Nachhallzeit.



4 Abklingkurven (Frequenz 1000 Hz) bei einer guten (oben) und einer schlechten Raumakustik (unten).



5 Ergebnisse von Nachhallzeit-Messungen.

Die Nachhallzeiten werden üblicherweise in den Oktavbändern (125–4000 Hz) oder in den Terzbändern (100–5000 Hz) angegeben (Bild 5). Als Schallquelle für die Messungen benutzt man entweder eine Lautsprecheranlage (Rauschsignale) oder Schallimpulse (Pistole mit Platzpatronen, Nachhallklatsche).

Richtwerte für die Nachhallzeiten sind in Ziff. 3.3 zusammengestellt.

2.4 Äquivalente Schallabsorptionsfläche

Zur Beschreibung des Schallschluckvermögens eines Raumes fand W. C. Sabine (1868–1919) eine Beziehung zwischen der Nachhallzeit T (in s), dem Raumvolumen V (in m^3) sowie der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A (in m^2):

$$A = 0,163 \times \frac{V}{T} [\text{m}^2] \quad [\text{GL 1}]$$

Da A in einem engen Zusammenhang mit α_s steht, kann für eine Teilfläche eines Raumes, z. B. die Decke, die äquivalente Schallabsorptionsfläche wie folgt berechnet werden:

$$A = \alpha_s \times S [\text{m}^2] \quad [\text{GL 2}]$$

S = Fläche in m^2

Kennt man die Absorptionsgrade α_i aller Teilflächen S_i eines Raumes, lässt sich die gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche A berechnen:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times S_i [\text{m}^2] \quad [\text{GL 3}]$$

Aus dem Ergebnis dieser Berechnung kann dann mit Hilfe der Gleichung [1] die Nachhallzeit bestimmt werden. In Ziff. 5.2.4 ist hierzu ein Beispiel aufgeführt.

In bestimmten Normen (z. B. ISO 3746 und DIN 45635) wird gezeigt, wie mit Hilfe des mittleren Absorptionsgrades α_s eine raumakustische Qualitätsbeurteilung für einen Raum vorgenommen werden kann (vgl. auch Ziff. 3.2). Der mittlere Absorptionsgrad lässt sich aufgrund einer Messung oder durch eine Berechnung nach folgender Formel bestimmen:

$$\alpha_s = 0,163 \times \frac{V}{T \times S_v} [-] \quad [\text{GL 4}]$$

S_v = Gesamte Raumboberfläche (Boden, Wände, Decke) in m^2

Der mittlere Absorptionsgrad α_s wird als arithmetischer Mittelwert über alle Frequenzen (Oktavbandanalyse: 125–4000 Hz; Terzbandanalyse: 100–5000 Hz) angegeben.

Wichtiger Hinweis

Alle Berechnungen, die mit Hilfe der in diesem Abschnitt beschriebenen Grundlagen durchgeführt werden, basieren auf einem diffusen Schallfeld. Ein diffuses Schallfeld ist in einem Raum jedoch nur dann vorhanden, wenn die von einer Quelle abgestrahlten Schallanteile an jedem Raumpunkt mit annähernd gleicher Intensität einwirken und das Verhältnis von der grössten zur kleinsten Raumabmessung nicht mehr als 3 beträgt. Zudem darf der mittlere Absorptionsgrad keiner Raumbegrenzungsfläche grösser als 0,3 sein.

Nun sind aber Arbeitsräume (Büros, Werkstätten) in der Regel flache Räume, die die Bedingungen für ein diffuses Schallfeld nicht erfüllen. Aus diesem Grund sind Berechnungen nach dieser Methode meistens mit Ungenauigkeiten behaftet. Das durch das Verfahren bedingte Weglassen des Streukörpereinflusses bringt weitere Abweichungen.

2.5 Schallpegelreduktion durch raumakustische Massnahmen

Die Nachhallzeiten lassen sich mittels schallabsorbierender Flächen reduzieren.

Aus dem Verhältnis der Nachhallzeiten lässt sich die Schallpegelreduktion ΔL rechnerisch ermitteln.

$$\Delta L = 10 \times \log \frac{T_1}{T_2} [\text{dB}] \quad [\text{GL 5}]$$

T_1 = Nachhallzeit im ursprünglichen Zustand in s

T_2 = Nachhallzeit mit schallabsorbierenden Materialien in s

Praktisch heisst dies, dass die Reduktion der Nachhallzeit um einen Faktor 2 – z. B. von 2,0 auf 1,0 s – eine Raumschallpegelreduktion von 3 dB(A) zur Folge hat.

Diese Verbesserung wird aber keinesfalls unmittelbar neben einer Lärmquelle wirksam (z. B. am Arbeitsplatz an einer Stanzmaschine). Sie ist erst in grösseren Entfernungen nachweisbar.

2.6 Pegelabnahme DL2

2.6.1 Einführung

Die gemessenen oder berechneten Nachhallzeiten für einen Raum liefern noch keine Informationen über die zu erwartende Abnahme des Schalldruckpegels einer Schallquelle in Abhängigkeit von der Distanz. Mit andern Worten: Eine in der Praxis brauchbare Beziehung zwischen Nachhallzeit und Pegelabnahme bei Distanzdoppelung existiert nicht. Es gibt lediglich Ansätze, die zeigen, wie zur Lösung dieses Problems mithilfe des mittleren Absorptionsgrades α_s gearbeitet werden könnte.

Bei ungehinderter Schallausbreitung von einer punktförmigen Geräuschquelle aus kann (theoretisch) mit einer maximalen Abnahme des Schalldruckpegels von 6 dB pro Distanzverdoppelung gerechnet werden. In geschlossenen Räumen wird dieser Wert jedoch nur erreicht, wenn sie reflexionsarm (schalltot) sind.

Von realistischeren Verhältnissen geht die häufig angewendete Schallausbreitungskurve aus.

Bei der Schallausbreitungskurve (abgekürzt SAK), welche die Abnahme des Schalldruckpegels in Abhängigkeit von der Distanz angibt, handelt es sich um eine Grösse, die 1988 in Deutschland und der Schweiz eingeführt wurde, um die raumakustischen Verhältnisse in industriellen Räumen besser beurteilen zu können. Die Schallausbreitungskurve, ob berechnet oder gemessen, berücksichtigt nicht nur die Schallabsorption, sondern auch die Streuung der Schallstrahlen in einem Raum (Verfahren nach Jovicic). Da die Berechnung sehr aufwändig ist, wurde der praxisnahe Einsatz erst mit der Verbreitung von leistungsfähigen Computern möglich. Je nach Absorptionsgrad der Raumbegrenzungsflächen müssen bis zu 50 000 Schallanteile pro Raumpunkt summiert werden! In der Zwischenzeit hat dieser Wert, allerdings in etwas anderer Form, Eingang in verschiedene Normen- und Richtlinien-Entwürfe gefunden. Man ist hierbei sogar so weit gegangen, dass für grössere Räume nur noch dieses Kriterium zur raumakustischen Qualitätsbeurteilung herangezogen werden darf.

DL2

Aus der Schallausbreitungskurve SAK wird als erste Kenngrösse das Mass DL2 ermittelt. Dieses gibt an, wie gross die mittlere Abnahme des Schalldruckpegels für einen bestimmten Entfernungsbereich je Abstandsverdoppelung ist.

Für die messtechnische Bestimmung von DL2 muss die Schalleistung der verwendeten Schallquelle nicht bekannt sein. Aus diesem Grunde sind solche Messungen mit relativ einfachen Mitteln durchführbar.

DLf

Die zweite Kenngrösse, die Pegelüberhöhung DLf, gibt an, um wie viel der in einem Raum mit Hilfe einer Normschallquelle ermittelte Schalldruckpegel in einem bestimmten Distanzbereich über dem Schallpegel bei freier Schallausbreitung (Idealfall, ohne Reflexionen) liegt.

Ein Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass die tatsächliche Schallausbreitung zur Beurteilung der raumakustischen Situation besser berücksichtigt wird. Der Einfluss der so genannten Streukörper (Maschinen und Anlagen im Raum) wird korrekt erfasst. Diese Streukörper wirken nicht in erster Linie als Absorber, sondern als diffus wirkende Reflexionsstellen.

In den arbeitsrechtlichen Bestimmungen existieren keine Anforderungen an die Pegelüberhöhung DLf. Nachfolgend wird deshalb ausschliesslich auf die Pegelabnahme DL2 eingegangen.

2.6.2 Normen und Richtlinien für DL2

In den Normen EN ISO 11690, Teil 1 (2020) und EN ISO 14257 (2001) werden unter anderem auch die Beurteilungskriterien für DL2 vorgestellt.

In Art. 22 der Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz vom 18. August 1993 und der dazugehörigen Wegleitung wird DL2 ebenfalls verwendet.

2.6.3 Die Ermittlung von DL2 aus Messdaten

Von einer geeigneten punktförmigen Schallquelle mit kugelförmiger Abstrahlcharakteristik (z. B. Dodekaeder-Lautsprecher mit konstantem Rauschen) wird die Schallausbreitungskurve SAK auf einem geradlinigen Messpfad bestimmt. Zwischen Schallquelle und Mikrofon dürfen sich keine Hindernisse befinden. Es empfiehlt sich, z. B. zentral angelegte Transportwege als Messpfad zu wählen. Nach Möglichkeit sollen mindestens zwei rechtwinklig zueinander liegende Messpfade gewählt werden.

Die Messpunkte müssen folgende Abstände zur Testschallquelle aufweisen: 1, 2, 3, 4, 5, ... , 10, 12, 14, 16, ... , 20, 24, 28, 32, ... , 40, 48, 56, 64, ... m. An diesen Punkten wird nun der Schalldruckpegel bei den Oktavbandmittelfrequenzen 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz gemessen. Fremdgeräusche sollten mindestens um 10 dB leiser sein als die Immission der Testschallquelle am Messpunkt, damit die Messergebnisse nicht verfälscht werden. Der Messpfad muss einen Mindestabstand von 1,5 m gegenüber reflektierenden Flächen aufweisen. Die Messhöhe ist üblicherweise 1,55 m über Boden.

Für die eigentliche Auswertung betrachtet man drei verschiedene Abstandsbereiche:

- Nahbereich, im Abstand von
 $1\text{ m} \leq r \leq 5\text{ m}$
- Mittelbereich, im Abstand von
 $5\text{ m} \leq r \leq 16\text{ m}$
- Fernbereich, im Abstand von
 $16\text{ m} \leq r \leq 64\text{ m}$

Massgebend für die raumakustische Qualitätsbeurteilung ist ausschliesslich der arithmetische Mittelwert des Schallpegelverlaufs im Mittelbereich von 5 bis 16 m, gemessen in den Oktavbändern 125 bis 4000 Hz.

Für die Auswertung der Messergebnisse wird ein Computerprogramm eingesetzt. Es werden Programme angeboten, mit deren Hilfe die Daten vom Messgerät direkt eingelesen und ausgewertet werden können. Ein solches Beispiel ist in Tabelle 1 (Messdaten aus EDV-Programm) und in Bild 6 (graphische Darstellung des Messpfades und Auswertung) dargestellt. Die Schalldruckpegelabnahme wird hierbei als Differenz zwischen Schalldruckpegel und Schalleistungspegel der verwendeten Quelle dargestellt. Gleichzeitig wird auch die Pegelüberhöhung DL_f berechnet.

Beim an dieser Stelle vorgestellten Programm handelt es sich um das Programm Cadna SAK der Firma DataKustik GmbH, D-86926 Greifenberg, www.datakustik.com.

Bei der steil abfallenden Geraden in Bild 6 und 7 (punktförmige Linie) handelt es sich um die Schallausbreitungskurve im Freien (Abnahme: 6 dB pro Distanzverdoppelung).

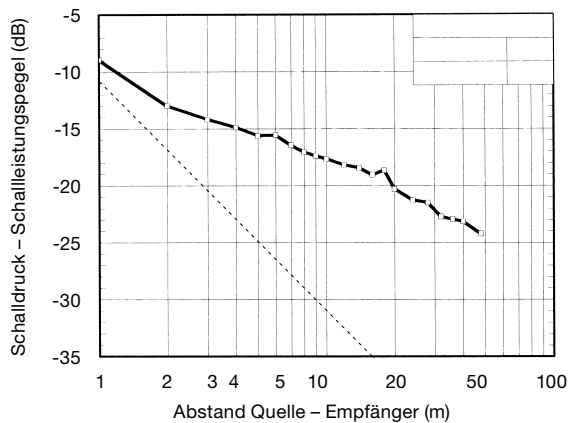
Wie wichtig das Mass DL2 für die Raumakustik ist, zeigt Bild 7, in dem die gemessene Schallausbreitungskurve vor der Sanierung der zu erwartenden Schallausbreitungskurve nach der Sanierung gegenübergestellt wird.

2.6.4 Die rechnerische Ermittlung von DL2 für Prognosen

DL2 kann für Prognosen mit den herkömmlichen einfachen Berechnungsmethoden nicht bestimmt werden. Dies gilt auch für den Fall, dass eine entsprechende Messung eines zu sanierenden Raumes vorliegt. Den Grund hierfür stellt das Berechnungsmodell dar. Dieses basiert im Falle von DL2 auf dem so genannten Spiegelquellenverfahren. Hierbei wird eine Vielzahl von einzelnen Schallstrahlen auf ihrem Weg verfolgt, bis sie keinen massgebenden Anteil mehr am Gesamtschallpegel liefern. Im Gegensatz zur Methode der Nachhallzeitberechnung spielt es demzufolge eine grosse Rolle, wo beispielsweise schallabsorbierende und wo schallreflektierende Materialien in einem Raum angeordnet sind. Die akustischen Eigenschaften der Raumboflächen werden in Abhängigkeit ihrer geometrischen Anordnung bei der Berechnung berücksichtigt.

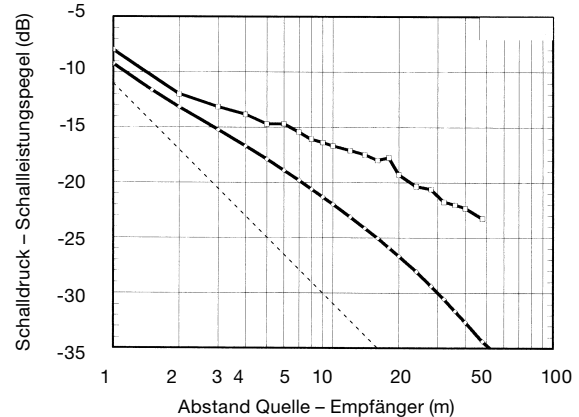
Solche Berechnungen können nur noch mit einem leistungsfähigen Computerprogramm bewältigt werden, müssen doch je nach Berechnungsgenauigkeit Millionen von Schallstrahlen verarbeitet werden. Je mehr Hall ein Raum aufweist, desto aufwändiger wird die Berechnung.

Solche Prognosen lassen sich mit dem in Ziff. 2.6.3 bereits erwähnten Computerprogramm ausführen.



Zusammenfassung der Einzahlengrößen:

	SAK-Parameter (dB)						
Frequenz (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	Gesamt
DLf (Nah)	1.7	5.8	5.0	3.3	6.3	5.7	5.1
DLf (Mitte)	9.0	13.5	12.4	10.8	14.4	13.0	12.8
DLf (Fern)	15.4	18.5	17.9	16.1	20.1	17.5	18.2
DL2 (Nah)	4.5	2.3	3.4	3.0	2.4	2.9	2.8
DL2 (Mitte)	2.2	1.4	3.1	1.7	2.0	2.2	2.1
DL2 (Fern)	2.6	4.7	2.9	3.4	3.4	4.1	3.5



7 Schallausbreitungskurve vor und nach der raumakustischen Sanierung.

Obere Kurve: Vor der Sanierung, DL2 = 2,1 dB

Untere Kurve: Nach der Sanierung (berechnet), DL2 = 4,3 dB

6 Graphische Darstellung des Messpfades und Messdatenauswertung (gleiche Werte wie in Tabelle 1).

Tabelle 1

Messdaten aus dem Messgerät, mit Hilfe eines EDV-Programms direkt verarbeitet.

Abstand [m]	SAK [dB] bei						Gesamt
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	
1	-9.9	-10.2	-8.0	-10.5	-8.1	-9.1	-8.9
2	-15.5	-11.7	-13.1	-15.0	-12.2	-11.3	-13.0
3	-21.7	-12.1	-15.0	-16.2	-12.6	-14.0	-14.2
4	-19.2	-14.6	-15.4	-16.3	-13.3	-15.1	-14.9
5	-19.4	-15.9	-15.9	-17.9	-13.8	-15.3	-15.6
6	-20.5	-16.1	-14.9	-17.8	-14.1	-16.0	-15.6
7	-20.0	-15.3	-16.4	-18.3	-15.3	-16.1	-16.4
8	-19.5	-16.4	-17.3	-19.1	-15.5	-16.7	-17.0
9	-20.3	-15.3	-18.2	-19.6	-15.8	-16.9	-17.4
10	-22.1	-17.4	-18.1	-19.7	-16.0	-17.0	-17.6
12	-21.0	-16.3	-18.9	-19.9	-16.7	-18.3	-18.2
14	-23.3	-18.1	-19.7	-20.5	-16.3	-18.3	-18.4
16	-23.1	-18.0	-20.4	-20.3	-17.4	-19.0	-19.0
18	-22.4	-19.2	-18.6	-20.6	-16.9	-19.3	-18.7
20	-22.3	-17.8	-21.5	-22.7	-18.4	-20.5	-20.3
24	-24.5	-21.4	-21.6	-23.6	-19.2	-21.6	-21.2
28	-25.0	-20.3	-21.3	-24.2	-19.7	-22.6	-21.5
32	-24.7	-22.6	-23.7	-24.4	-20.7	-23.4	-22.7
36	-24.9	-22.9	-22.7	-24.7	-21.5	-23.9	-23.0
40	-26.4	-24.4	-23.0	-25.5	-21.1	-24.4	-23.2
48	-26.5	-25.1	-24.7	-25.7	-22.3	-25.3	-24.2

3 Anforderungen

3.1 Wahl der Kenngrössen

Die nachfolgend beschriebenen Kenngrössen kommen gemäss Wegleitung zu Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz, Art. 22 ausschliesslich für industrielle und gewerbliche Arbeitsplätze zur Anwendung.

Für Büro- und Laborräume betrachtet man das Verhältnis von äquivalenter Schallabsorptionsfläche zu Raumvolumen A/V . Darauf wird in dieser Publikation nicht näher eingegangen.

Die raumakustischen Anforderungen für industrielle und gewerbliche Arbeitsplätze lassen sich mit folgenden drei Kenngrössen formulieren:

1. Mittlerer Absorptionsgrad $\bar{\alpha}_s$
2. Nachhallzeit T
3. Abnahme des Schalldruckpegels in Abhängigkeit von der Distanz (DL2)

Welche Kenngrösse soll nun aber wo zur Anwendung kommen? Grundsätzlich können alle drei Kenngrössen berechnet werden. Messtechnisch lassen sich aber nur die Nachhallzeiten sowie das Mass DL2 ermitteln. Für die Erhebung von DL2 für kleine Räume ergeben sich allerdings Einschränkungen.

Tabelle 2
Wahl des Prüfverfahrens

	Planung (Berechnung)	Sanierung (Messung)
Schallabsorptionsgrad α_s	x	
Nachhallzeit T_m	x	x
Pegelabnahme DL2 (Pfadlänge > 20m)	x	x

Tabelle 3
Wahl des Anregungsverfahrens für Nachhallzeitmessungen

	Raumvolumen	Raumlänge
Pistole 6mm, Nachhallklatzche	$\leq 100 \text{ m}^3$	
Luftballon		
Pistole 9mm	$> 100 \text{ m}^3$	$< 10 \text{ m}$
Rauschen, Sinus-Sweep	$\leq 1000 \text{ m}^3$	$> 10 \text{ m}$



8 Schallquellen zur Impulsanregung

Die Nachhallzeiten sowie das Mass DL2 gelten grundsätzlich für betriebsbereite Räume, d. h. für Räume inkl. Maschinen und Anlagen sowie Raumeinbauten wie Kabinen, Lüftungskanäle usw. Der mittlere Schallabsorptionsgrad hingegen wird, da er in erster Linie als einfaches Arbeitsinstrument für geplante Bauvorhaben eingesetzt wird, für unbelegte Räume berechnet.

3.2 Mittlerer Absorptionsgrad $\bar{\alpha}_s$

Als Planungsgrösse wird für unbelegte Räume (ohne Einrichtungen und Mobiliar) ein über alle Raumbegrenzungsflächen (S_{tot}) berechneter mittlerer Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha}_s$ von > 0.25 verlangt. Dabei ist:

$$\bar{\alpha}_s = \frac{A_{\text{tot}}}{S_{\text{tot}}} \quad A_{\text{tot}} = \text{gesamtes Schallschluckvermögen (m}^2\text{)}$$

Siehe auch Berechnung des mittleren Schallabsorptionsgrades eines Raumes, www.suva.ch/laerm.

Für kubische Räume kann dies bedeuten, dass eine Akustikdecke allein nicht genügt, um die Forderung $\bar{\alpha}_s \geq 0.25$ zu erfüllen. Allenfalls sind zusätzlich absorbierende Wandverkleidungen notwendig.

Es besteht auch die Möglichkeit, die Anforderungen bezüglich Nachhallzeit gemäss Ziff. 3.3 in einen objekt-spezifischen (Berücksichtigung der Raumabmessungen) mittleren Absorptionsgrad umzurechnen. Hierzu verwendet man die in Ziff. 2.4 erwähnte Gleichung [GL 4].

Beispiel

Fabrikationsraum mit den Abmessungen $30 \times 20 \times 8 \text{ m}^3$.

$V = 4800 \text{ m}^3$, $S_v = 2000 \text{ m}^2$ (gesamte Raumboberfläche).

Gemäss Grafik in Kapitel 3.3 ist T (arithmetischer Mittelwert T_m für 4800 m^3) = 1,4 s.

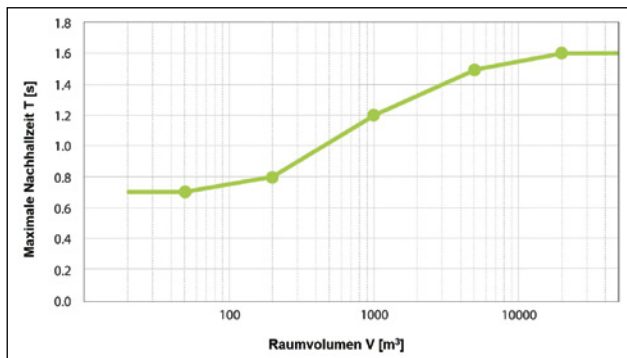
Nun wird

$$\bar{\alpha}_s = \frac{0,163 \times V}{T_m \times S_v} = \frac{0,163 \times 4800}{1,4 \times 2000} = 0,28$$

Der mittlere Schallabsorptionsgrad von 0,28 liegt über der Mindestanforderung von 0,25 und darf somit als genügend bezeichnet werden.

3.3 Nachhallzeiten

Für die Nachhallzeit T wird der Mittelwert im Frequenzbereich von 125 Hz bis 4 kHz eingesetzt. Die maximale Nachhallzeit T ergibt sich aus nachfolgendem Diagramm. Die Richtwerte gelten für arbeits- und funktionsbereite Arbeitsräume.



9 Richtwerte für maximale Nachhallzeiten.

3.4 Pegelabnahme DL2

Die Abnahme des Schalldruckpegels pro Distanzverdopplung, kurz DL2, soll im Mittelbereich (5–16 m) mindestens

$$DL2 \geq 4 \text{ dB}$$

betragen. Dieser Wert gilt für arbeits- und funktionsbereite Räume. Werden Prognosen für Neubauten berechnet, spielt der Belegungsgrad eine wesentliche Rolle. Die Erfahrung zeigt nämlich, dass die Anforderung von $DL2 \geq 4 \text{ dB}$ für leere Räume auch mit einer sehr guten Akustikdecke allein nicht erfüllbar ist. Der grosse Einfluss des Belegungsgrades auf die Prognosewerte illustriert das Berechnungsbeispiel in Ziff. 5.5.1.

4 Praktische Lösungsmöglichkeiten

4.1 Grundsätzliche Varianten

Für die Montage von schallabsorbierenden Materialien eignen sich die Decke und die Wände. Bezüglich der Ausführung werden grundsätzlich die folgenden Varianten unterschieden (vgl. auch Bild 10):

1. Akustikplatten aus Materialien mit glatter oder strukturierter Oberfläche (Bild 10a).
2. Platten für Wärmedämmung und Schallabsorption kombiniert (Bild 10b).
3. Baffeln (Bild 10c, links) und Kompaktabsorber (Bild 10c, rechts).

4.2 Hinweise zur Anwendung von Schallabsorptionsmaterialien

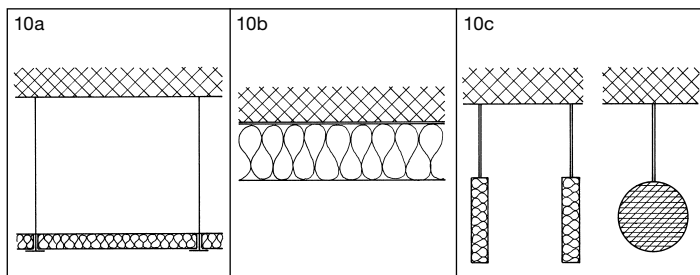
Einige Hinweise für die praxisgerechte Anwendung von Schallabsorptionsmaterialien:

Poröse Materialien

Mit zunehmender Frequenz nimmt das Absorptionsvermögen von porösen Stoffen zu.

Luftzwischenraum

Wird zwischen Absorptionsmaterial und der dahinterliegenden Wand (oder Decke) ein Luftzwischenraum von einigen Centimetern angeordnet, z. B. mit einem Lattenrost, kann das Absorptionsvermögen im Bereich der tiefen Frequenzen wesentlich verbessert werden (zusätzliche Resonatorwirkung, Schallschnelleximum im Dämmbereich).



10 Grundsätzliche Varianten für die Montage von schallabsorbierenden Materialien.

Harte Platten

Harte Platten (z. B. Spanplatten, Sperrholzplatten) haben lediglich im Bereich der tiefen Frequenzen eine Absorptionswirkung. Dies allerdings nur dann, wenn die Schichtdicke weniger als 10 mm beträgt und die Platten auf einem Lattenrost montiert sind.

Farbanstriche

Farbanstriche können das Absorptionsvermögen von schallschluckenden Materialien wesentlich verschlechtern, was vor allem bei Renovationen zu beachten ist. Mit Vorteil werden nur fabrikmässig eingefärbte Produkte verwendet.

Ästhetik

Bei der Wahl des Akustikmaterials sollen neben den rein akustischen Eigenschaften auch ästhetische Gesichtspunkte sowie praktische Aspekte (z. B. Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beschädigung, Staub, Feuchtigkeit usw.) berücksichtigt werden.

Hygieneräume

Es gibt Räume, wo an Akustikmaterialien spezielle Anforderungen gestellt werden müssen (z. B. in der chemischen Industrie, in der Lebensmittelindustrie, in Spitälern). Obschon absorbierende Materialien für solche Räume eine geschlossene Oberfläche aufweisen müssen, können sie trotzdem über sehr gute Absorptionseigenschaften verfügen. Zur genaueren Festlegung von Anforderungen bezieht man sich sinnvollerweise auf einschlägige Normen (SN EN ISO 14644, VDI 2083).

Bauphysikalische Gesichtspunkte

Es wird vielfach übersehen, dass schallabsorbierende Materialien neben akustischen Eigenschaften auch ein gutes Wärmedämmvermögen aufweisen. Hierdurch können bauphysikalische Schwierigkeiten entstehen, die zu umfangreichen Bauschäden führen können.

Werden nämlich Akustikmaterialien direkt an Aussenbauteilen (Wände, Decken) angebracht, wird der so genannte Taupunkt gegen die Warmseite hin verschoben und gleichzeitig der Wärmedurchgangskoeffizient erhöht. Je nach den Aussen- und den Innenklimadaten ist es nur eine Frage der Zeit, bis die ersten Bauschäden sichtbar werden (Flecken auf den Akustikplatten, Tropfwasser, sich lösende Akustikplatten).

Deshalb lautet die Hauptforderung für die Montage von Akustikplatten an Aussenbauteilen: Es muss in jedem Falle eine hinterlüftete Anordnung gewählt werden, d. h. die Raumluft muss zwischen dem Akustikmaterial und dem Aussenbauteil zirkulieren können. Allerdings geht durch diese bauphysikalisch zwingend notwendige Massnahme das Wärmedämmvermögen des Akustikmaterials verloren.

4.3 Planung von Neubauten

Bei Neubauten gilt es, bereits während der Projektierung eine kostengünstige Raumakustiklösung anzustreben. Es gibt mehrere hochwirksame Lösungen, die nachträglich nicht mehr realisiert werden können, aber gegenüber klassischen Akustikdecken bis zu 50 % günstiger sind. Eine Auswahl solcher Systeme wird nachfolgend vorgestellt.

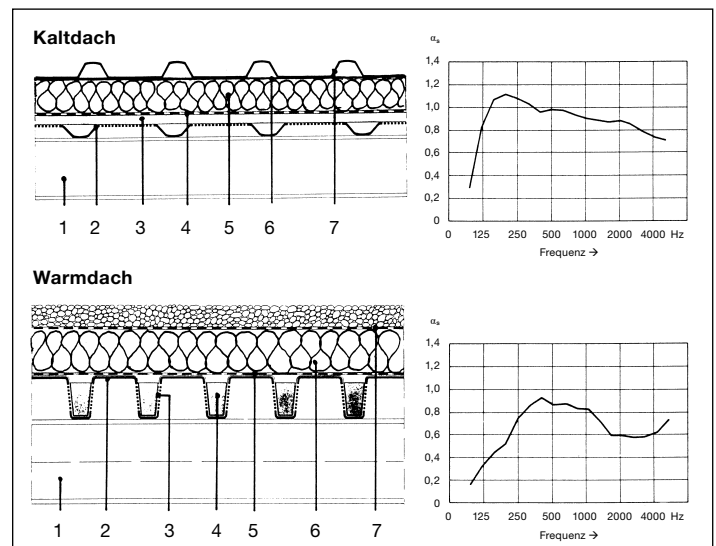
4.3.1 Profilblechdächer

Eine heute sehr weit verbreitete kostenoptimale Bauart für Industriehallen ist eine Stahlkonstruktion mit einem Profilblechdach. Die Wände bestehen meist aus Beton, Mauerwerk, Fenstern oder ebenfalls aus Blech. In solchen Räumen sind die Nachhallzeiten als Folge der fehlenden raumakustischen Materialien sehr hoch.

Es besteht nun die Möglichkeit, die Profilbleche zu perforieren (werkseitig) und als hochwirksame Akustikdecke auszubilden. Zwei Beispiele einer solchen Konstruktion sind zusammen mit den Absorptionsgraden in Bild 11 dargestellt.

Aus dieser akustisch und bautechnisch überzeugenden Lösung ziehen wir eine für die Planung bedeutungsvolle Folgerung:

Wer eine Industriehalle mit ständigen Arbeitsplätzen darin plant, soll das Profilblechdach gleich in perforierter Ausführung vorsehen.



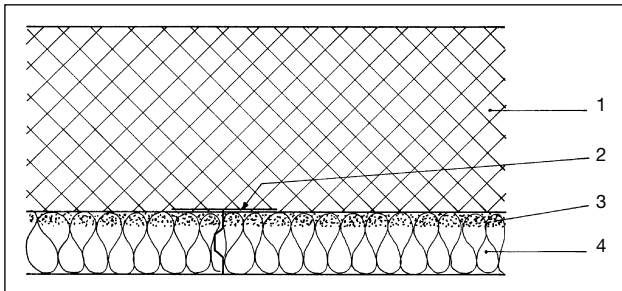
11 Bauart und Wirkung von perforierten Profilblechdächern
(Quelle: Sonotec AG, Villmergen).

Kaltdach

- 1 MONTANA C-Profil (Dachpfette)
- 2 SWISS PANEL SP 28 A, 0,80 mm, Stahl verzinkt, im Obergurt gelocht, Lochanteil 20,5 %
- 3 Mineralfasermatte 25 mm, ISOVER Typ FM (25 kg/m³), mit Alu-Dampfsperre 0,05 mm
- 4 Distanzhalterung 100 mm, Z-Profil, 1,50 mm, Stahl verzinkt
- 5 Wärmedämmplatte 75 mm, FLUMROC Typ Rollfilz Krepp (25 kg/m³)
- 6 PVC-Aufsteckprofil auf Z-Profil
- 7 SWISS PANEL SP 41, 0,70 mm, Stahl verzinkt, bandbeschichtet

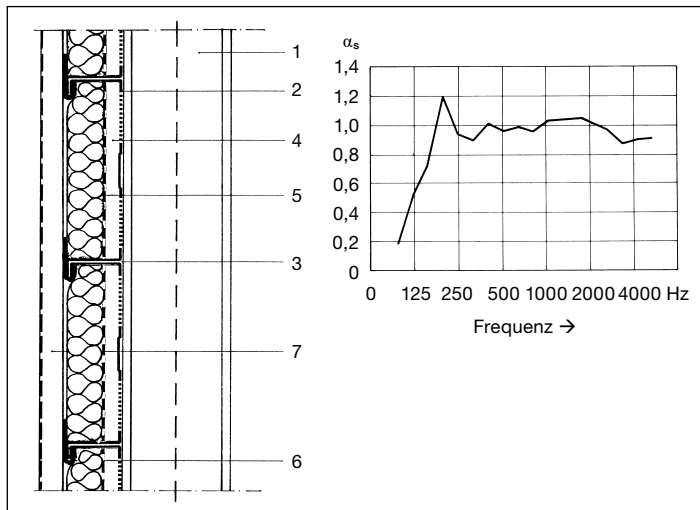
Warmdach

- 1 Dachpfette/Träger
- 2 SWISS PANEL SP 95 A, 1,00 mm, Stahl verzinkt, im Steg gelocht, Lochanteil 25,2 %
- 3 Rieselschutz (50 g/m²)
- 4 Akustik-Keil FLUMROC Typ 1 (32 kg/m³)
- 5 Dampfsperre SARNAVAP 1000, 1,60 mm (300 g/m²)
- 6 Wärmedämmplatte 100 mm (2 × 50 mm), FLUMROC Typ 341 (180 kg/m³)
- 7 Wasserhaut SARNAFIL G 21 441, 2,40 mm (2,7 kg/m²)



12 In Schalung eingelegte Holzwolleleichtbauplatten (ist nur bei der Verwendung von trockenem Beton oder bescheidenen ästhetischen Ansprüchen zu empfehlen)

- 1 Beton
- 2 abgeklebter Stoss
- 3 in Leichtbauplatte eingedrungener Beton
- 4 Holzwolle-Leichtbauplatte



13 Aussenwandplatten für Wärmedämmung und Schallabsorption kombiniert (Quelle: Sonotec AG, Villmergen).

- 1 Stahlstütze
- 2 MONTANA-Wandprofil WP 100/333 A, 1,00mm, Stahl verzinkt, gelocht, Lochanteil 25,2 %
- 3 Dichtungsband G 410, 19x3,2mm, geschlossenzelliger Schaumstoff
- 4 Mineralfaserplatte 25/23mm, ISOVER Typ PS 81 (80kg/m³), mit Alu-Dampfsperre 0,05mm
- 5 Wärmedämmplatte 80mm, FLUMROC Typ 1 (32kg/m³)
- 6 PVC-Aufsteckprofil (Hartschaum, 4 x 64mm) über WP-Lappen
- 7 SWISS PANEL SP 41, 0,70mm, Stahl verzinkt, bandbeschichtet

4.3.2 Nebenräume

Früher hat man, wenn an die Ästhetik des Raumes keine grossen Ansprüche gestellt wurden (z. B. bei Energieräumen für Heizung, Lüftung, Kälte, Druckluft usw.), ein geeignetes Material direkt in die Schalung eingelegt (z. B. Holzwolleleichtbauplatten, Bild 12). Diese Variante befriedigt aber nur noch in seltenen Fällen, da heute im Vergleich zu früher deutlich flüssigerer Fertigbeton verwendet wird (der mittels Betonpumpen in die Schalung geleitet wird) und dadurch grössere Probleme auftreten. Auch ein sorgfältiges Abkleben der Platten-Stossfugen allein gibt noch keine Gewähr dafür, dass nicht doch Zement durch die Fugen auf die Schalungsunterseite dringen kann. Besonders kritisch sind Durchführungen von elektrischen Leitungen durch die Akustikplatten.

Aus diesem Grunde soll eine nachträgliche direkte Montage geprüft werden, die in den meisten Fällen keine Mehrkosten verursacht, zu einem ästhetisch befriedigenden Ergebnis führt und bauphysikalisch verantwortbar ist.

4.3.3 Platten für Wärmedämmung und Schallabsorption kombiniert

Aussenwand- oder Dachplatten, die sowohl der Wärmedämmung als auch der Schallabsorption dienen, gibt es in Leichtbauart (z. B. Stahl- oder Aluminiumsandwichelemente, Bild 13), Holzwolleleichtbauplatten mit Einlage usw.) oder in Massivbauart (z. B. Durisol).

4.4 Sanierungen

Der Entscheid, ob eine Halle saniert werden muss oder nicht, soll auf der Grundlage von raumakustischen Messungen gefällt werden. Nur Messungen liefern zuverlässige Resultate für eine Beurteilung. Muss eine raumakustisch unbefriedigende Industriehalle saniert werden, gibt es eine ganze Reihe von Randbedingungen, die sowohl die Materialauswahl als auch die Montageart beeinflussen.

Eine kleine Auswahl der erwähnten Randbedingungen:

- Die zur Verfügung stehende Montagehöhe ist beschränkt (Raumhöhe, Kranbahn, Lüftung usw.).
- Durch die Tragkonstruktion ist ein festes Rastermass für Akustikplatten vorgegeben.
- Bei Nass- und Hygieneräumen sind spezielle Materialien mit kompakter Oberfläche erforderlich.
- Bei Shedbauten mit Lichtbändern stellt sich die Frage, wo das Akustikmaterial angebracht werden kann.
- Die vorhandene Beleuchtungs- und/oder Belüftungsanlage soll nicht verändert werden usw.

Aufgrund der Analyse der Randbedingungen lässt sich mit Sicherheit eine Variante für die Sanierung finden, die zu raumakustisch einigermaßen befriedigenden Ergebnissen führt. Je nach Situation wird dies eine der folgenden Varianten sein:

- Glatte, geschlossene Akustikdecke
- Rasterdecke, oben offen
- Kompaktabsorber oder Baffeln

Es ist damit zu rechnen, dass nicht die ganze Deckenfläche mit Absorptionsmaterial belegt werden kann. In solchen Fällen muss geprüft werden, ob die noch fehlenden Absorptionsflächen an den Wänden ergänzt werden können.

4.5 Mittelwerte für die Absorptionsgrade

Für Grobbeurteilungen genügt es, die Mittelwerte der Absorptionsgrade α_s einiger Akustikmaterialgruppen zu kennen (Tabelle 4). Die Lieferanten von Akustikmaterialien sind in der Lage, die Absorptionskoeffizienten ihrer Produkte anzugeben.

Tabelle 4

Absorptionsgrade α_s (Mittelwerte verschiedener Fabrikate).

Material	LZR [mm]	Frequenz [Hz]							$\bar{\alpha}_s$
		125	250	500	1000	2000	4000		
Beton, abgeglättet, roh	–	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	
Geschlossene Fenster	–	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	
Bauüblicher Verputz	–	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	
Durisol Dachelemente	–	0,50	0,73	0,75	0,80	0,85	0,90	0,75	
Profilblech, glatt	–	0,06	0,20	0,15	0,14	0,10	0,05	0,12	
Profilblech, perforiert	–	0,50	0,85	0,92	0,85	0,75	0,70	0,76	
Pavaroc mit Dessin	200	0,35	0,45	0,50	0,70	0,85	0,95	0,63	
Metalllochdecken 10–12 % Löcher	250	0,35	0,70	0,75	0,85	0,90	0,80	0,72	
20–25 % Löcher	250	0,40	0,75	0,85	0,90	0,95	0,95	0,80	
Holzwoleleichtbauplatten, 50 mm	50	0,20	0,45	0,60	0,75	0,85	0,90	0,63	
Folienabsorber für Nassräume	50	0,10	0,70	0,80	0,80	0,75	0,45	0,60	
Schaumstoffpyramidenplatten	–	0,15	0,40	0,80	1,05	1,05	1,05	0,75	
20 mm Akustikputz	–	0,05	0,15	0,35	0,57	0,72	0,64	0,41	
Mineralfaserplatten, roh (Glas/Steinwolle), 50 mm		0,20	0,70	1,00	1,00	1,00	1,05	0,83	
Baffeln, h/d = 1/1	–	0,20	0,40	0,70	0,80	0,85	0,80	0,63	

LZR = Luftzwischenraum

4.6 Kosten

Die Preise für schallabsorbierende Materialien hängen unter anderem massgeblich von folgenden Einflussfaktoren ab:

- Grösse des Auftrages in m²
- Art der Montage
- Art des Untergrundes
- Tragfähigkeit
- Raumhöhe
- Zugänglichkeit (leerer oder belegter Raum)
- Anpassungsarbeiten (Beleuchtung, Energieleitungen, Kranbahn usw.)
- Montage-Zeitpunkt (tags, nachts oder an Wochenenden).

Die nachfolgende System- und Kostenübersicht basiert auf Angaben des Verbandes Schweizerischer Unternehmen für Decken- und Innenbausysteme VSD, www.vsd.swiss.

Tabelle 5

Approximative Kosten von Akustiksystemen, fertig montiert (Stand 2021).

Material, Montage	Richtpreise in CHF/m ² (ab 100 m ²)
Akustikputz (Sto)	50.– bis 90.–
Holzwohleplatten mit Hinterlage 30mm (Heradesign, UNIAKUSTIK, Fibracoustic, Cewood)	60.– bis 100.–
Mineralfaserplatten Einlegesystem (Rockfon, OWA, AMF, Parafon, Ecophon)	50.– bis 100.–
Mineralfaserbaffeln (Rockfon, OWA, AMF, Parafon, Ecophon)	130.– bis 180.–
Polyesterfaserplatten Baffeln, Segel (SilentPET, Achisonic, aPerf)	150.– bis 200.–
Metallelemente gelocht (Haag, Metalit, Durlum, FURAL, Armstrong)	80.– bis 120.–

Wird ein Neubau geplant, ist das Verhältnis zwischen den Aufwendungen für allfällige raumakustische Massnahmen und der Rohbausumme (nur Fabrikationsanteil, ohne Bürogebäude, ohne Maschinen und Anlagen) von Interesse. Die Erfahrung zeigt, dass dieses Verhältnis bei etwa **1 bis 2 %** liegen wird. Bei grösseren Bauvorhaben lässt man sich vielfach vom bedeutenden Investitionsbedarf (in Franken, nicht in %) für die raumakustischen

Massnahmen beeindrucken. Dabei spielt es doch eine wesentliche Rolle, ob beispielsweise ein Schlosserei-Neubau für 1 Mio. Franken oder ein Neubau für die chemische Industrie für 100 Mio. Franken gebaut wird. Im ersten Fall dürften die Aufwendungen für die Raumakustik zwischen 10 000.– und 20 000.– Franken liegen, im zweiten Fall im Bereich von 1 bis 2 Mio. Franken!

Noch ein Tipp zum Thema «Kosten»: Holen Sie bei mehreren Firmen eine Offerte ein, denn ein Kostenvergleich lohnt sich immer.

Vergleichen Sie bei den offerierten Systemen auch die akustische Wirksamkeit (anhand der Absorptionsgrade α_w oder α_p gemäss EN ISO 11654 «Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden – Bewertung der Schallabsorption» bzw. α_s gemäss EN ISO 354 «Messung der Schallabsorption in Hallräumen»).

Beachten Sie: Umrechnungen zwischen verschiedenen Konstruktionsarten (flache Decke – Baffel – Zylinder) sind nicht möglich; es sind in jedem Fall Messdaten für die vorgeschlagene Konstruktionsart zu verlangen.

4.7 Beispiele

Schallabsorbierende Materialien können auf die unterschiedlichsten Arten eingebaut werden. Die Bilder 14 bis 19 zeigen einen repräsentativen Querschnitt der Möglichkeiten im industriellen Bereich.



14 Mineralfaser-Akustikplatten in einem mechanischen Betrieb.



15 Beschichtete Steinwolle-Akustikplatten in einer Spenglerei.



16 Baffeln aus Steinwolle-Akustikplatten in einer Getränkefirma (Abfüllanlagen).



17 Kompaktabsorber in einer Stanzerei.



18 Perforierte Metallprofilbleche in einer Schlosserei
(die dunklen Stellen sind perforiert).



19 Geschlitzte Spezialsteine mit Hohlräumen und Dämpfungseinlagen in einer Schlosserei.

5 Lärmprognosen für Räume

5.1 Übersicht

Mit Hilfe der heute zur Verfügung stehenden Prognoseverfahren können die raumakustischen Verhältnisse bei Sanierungen als auch bei der Planung von Neubauten beurteilt werden. Je nach Problem und den zur Verfügung stehenden technischen Hilfsmitteln wird eine der folgenden Varianten gewählt:

1. Berechnung der Nachhallzeiten für einen Neubau.
2. Berechnung der veränderten Nachhallzeiten auf der Grundlage von Messungen für einen Sanierungsfall.
3. Berechnung des mittleren Absorptionsgrades $\bar{\alpha}_s$ für einen Neubau.
4. Berechnung des veränderten mittleren Absorptionsgrades $\bar{\alpha}_s$ für einen Sanierungsfall.
5. Berechnung der Schallausbreitungskurve für einen Neubau.
6. Berechnung der veränderten Schallausbreitungskurve für einen Sanierungsfall.

Das Ziel jeder Variante ist es, eine möglichst präzise Prognose zu stellen. Hierbei sind die Varianten 1 bis 4 etwas ungenauer, weil meistens ein diffuses Schallfeld vorausgesetzt wird. Trotzdem wird ein Beispiel einer solchen Prognose vorgestellt, weil diese Berechnungsart in der Praxis immer noch weit verbreitet ist. Damit die verschiedenen Prognoseverfahren miteinander verglichen werden können, wird im Folgenden ein Beispiel zuerst nach der Methode der klassischen Nachhallzeitberechnung ohne und mit Streukörpereinfluss berechnet und danach nach der Methode der Schallausbreitungskurve (und dem Spiegelquellenverfahren nach Ziff. 2.6.4).

5.2 Klassische Berechnung der Nachhallzeiten

5.2.1 Berechnungsgrundlagen

Das folgende Beispiel wird nach der Methode gemäss Ziff. 2.4 berechnet. Dies bedeutet, dass die Raumeinbauten (Maschinen als Streukörper) nicht berücksichtigt werden und die Berechnungsergebnisse somit ausschliesslich für den leeren Raum gelten.

5.2.2 Beispiel

Geplant ist ein Neubau von 40 m Länge, 20 m Breite und 5,5 m Höhe. Die beiden Längswände bestehen je zur Hälfte aus Fenstern und aus Profilblech. Die beiden Stirnwände sind verputzt (Mauerwerk). Das Dach soll aus Profilblech gebaut werden. Die Nachhallzeiten sollen für glatte und für perforierte Profilbleche an der Decke berechnet werden.

5.2.3 Berechnung der Grunddaten

$$V = 40 \times 20 \times 5,5 = 4400 \text{ m}^3$$

Boden-/Deckenfläche:	800 m ²
Fensterfläche:	220 m ²
Blechwandfläche:	220 m ²
Verputzte Wände:	220 m ²

5.2.4 Berechnung des Schallschluckvermögens

Wir berechnen vorerst das Schallschluckvermögen (äquivalente Schallabsorptionsfläche) A des Raumes ohne die Decke (Tabelle 6). Die α_s -Mittelwerte entnehmen wir der Tabelle 4.

Als Nächstes (Tabelle 7) berechnen wir das Schallschluckvermögen für die beiden Deckenvarianten ($S = 800 \text{ m}^2$).

Nun lassen sich das gesamte Schallschluckvermögen A_1 und A_2 sowie die Nachhallzeiten berechnen (Tabelle 8).

Tabelle 6

Berechnung der raumakustischen Grunddaten.

Bauteil	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
	α_s	A	α_s	A	α_s	A	α_s	A	α_s	A	α_s	A
800 m ² Betonboden	0,02	16	0,03	24	0,03	24	0,04	32	0,05	40	0,05	40
220 m ² Fenster	0,10	22	0,04	9	0,03	7	0,02	4	0,02	4	0,02	4
220 m ² Blechwand	0,06	13	0,20	44	0,15	33	0,14	31	0,10	22	0,05	11
220 m ² verputzte Wand	0,02	4	0,02	4	0,03	7	0,04	9	0,05	11	0,05	11
A_{Total}		55		81		71		76		77		66

Tabelle 7

Schallschluckvermögen der Deckenvarianten.

Deckenvariante	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
	α_s	A	α_s	A	α_s	A	α_s	A	α_s	A	α_s	A
Variante 1 Profiblech, glatt	0,06	48	0,20	160	0,15	120	0,14	112	0,10	80	0,05	40
Variante 2 Profiblech, perforiert	0,50	400	0,85	680	0,92	736	0,85	680	0,75	600	0,70	560

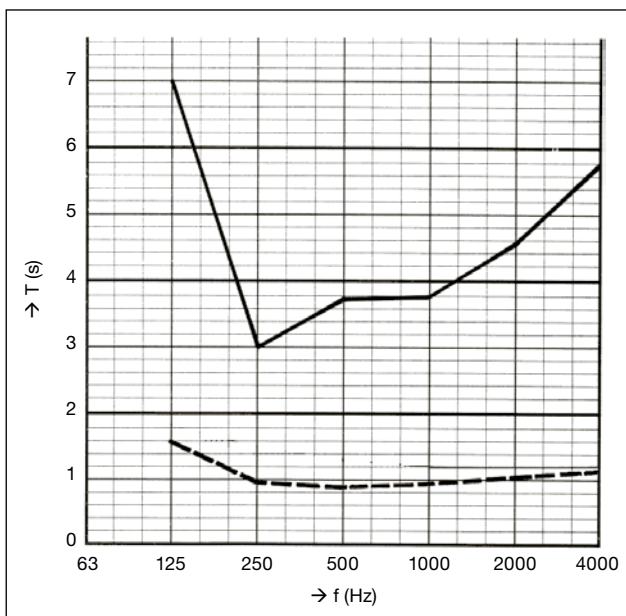
Tabelle 8

Berechnung des gesamten Schallschluckvermögens und der Nachhallzeiten. Maximale Nachhallzeit gemäss Bild 9 (Richtwert bei Raumvolumen 4400 m³) = 1,46 s

Frequenz	125	250	500	1000	2000	4000	Hz	Mittelwert der Nachhallzeiten
Variante 1 $A_1 =$	103	241	191	188	157	106	m ²	4,8s
$T_1 = \frac{0,163 \times V}{A_1} = \frac{0,163 \times 4400}{A_1} =$	6,95	3,00	3,75	3,80	4,55	6,75	s	
Variante 2 $A_2 =$	455	761	807	756	677	626	m ²	1,1s
$T_2 = \frac{0,163 \times V}{A_2} =$	1,60	0,95	0,90	0,95	1,05	1,15	s	

5.2.5 Berechnung der Nachhallzeiten

Die berechneten oder gemessenen Nachhallzeiten werden üblicherweise in einem Diagramm dargestellt (Bild 20).

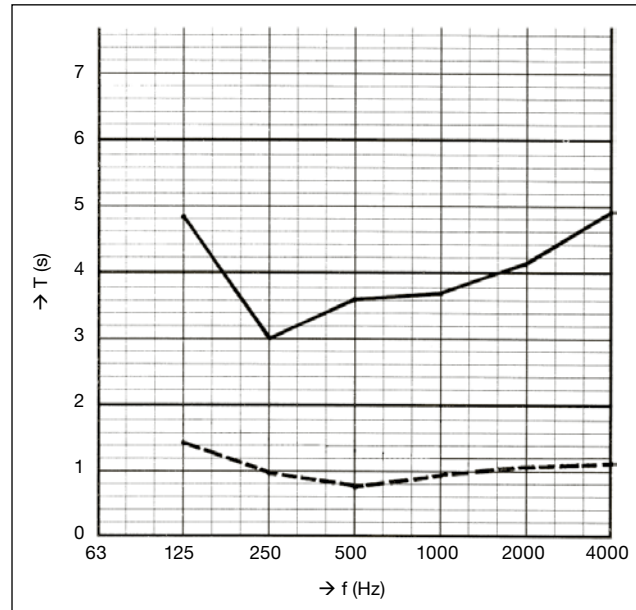


20 Ergebnisse der klassischen Nachhallzeit-Berechnungen für einen Neubau.
 ----- Variante 1: glatte Profilblechdecke
 ----- Variante 2: perforierte Profilblechdecke

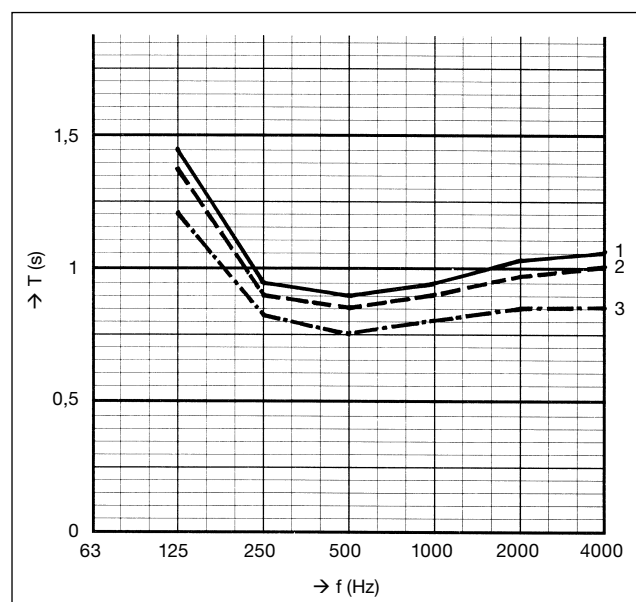
5.3 Berechnung der Nachhallzeiten mit einem Computerprogramm

Werden die Nachhallzeiten für den gleichen Raum (Ziff. 5.2.2) mit einem Computerprogramm berechnet, das zusätzlich die Streukörperdichte (Maschinenbelegungsgrad) sowie die Raumform (Wandreflexionen) berücksichtigen kann, erhalten wir vor allem bei tiefen Frequenzen ein abweichendes Ergebnis (speziell für den Fall «glatte Profilblechdecke»). Der prognostizierte Nachhallzeitverlauf ist in Bild 21 für einen sehr geringen Maschinenbelegungsgrad (was einem praktisch leeren Raum gleichkommt) dargestellt.

Eine Veränderung des Maschinenbelegungsgrades beeinflusst auch die Nachhallzeiten, wie Bild 22 zeigt.



21 Ergebnisse der Nachhallzeit-Berechnungen mithilfe eines EDV-Programms für einen Neubau (für einen sehr geringen Maschinenbelegungsgrad).
 ----- Variante 1: glatte Profilblechdecke
 ----- Variante 2: perforierte Profilblechdecke

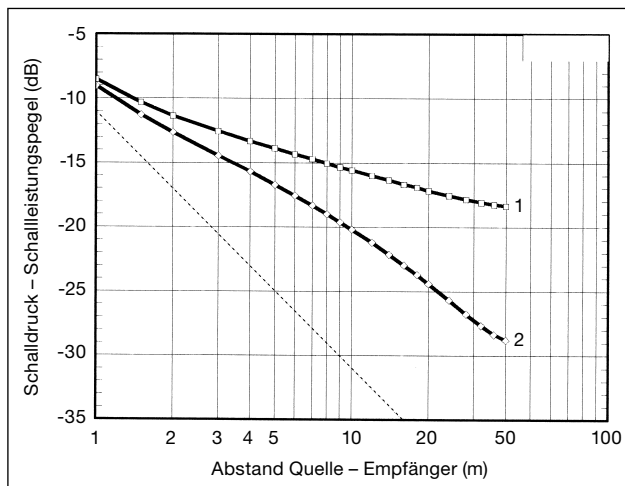


22 Einfluss des Maschinenbelegungsgrades bei der mit einem Computerprogramm berechneten Nachhallzeitprognose für Variante 2 (perforierte Profilblechdecke).
 Kurve 1: Maschinenbelegungsgrad sehr gering
 Kurve 2: Maschinenbelegungsgrad gering
 Kurve 3: Maschinenbelegungsgrad dicht

Tabelle 9

Vergleich der Berechnungsergebnisse verschiedener Prognoseverfahren.

Beurteilungskriterium	glatte Decke	perforierte Decke
Mittelwert der Nachhallzeiten von 125–4000 Hz		
Berechnung nach der klassischen Methode (Ziff. 5.2)	4,80 s	1,10 s
Berechnung mit einem Computerprogramm (Ziff. 5.3), wobei Streukörperdichte sehr gering	4,00 s	1,05 s
gering	3,36 s	1,00 s
gross	2,32 s	0,88 s
Distanzabnahme DL2		
Streukörperdichte sehr gering	1,2 dB	2,9 dB
gering	1,8 dB	3,7 dB
gross	3,2 dB	5,3 dB



23 Schallausbreitungskurven SAK für einen geringen Maschinenbelegungsgrad.
 Kurve 1: glatte Profilblechdecke
 Kurve 2: perforierte Profilblechdecke
 Bei der steil abfallenden Geraden handelt es sich um die Schallausbreitungskurve im Freien (Abnahme: 6 dB pro Distanzdoppelung).

Die raumakustische Prognose mit einem Computerprogramm hat zudem den Vorteil, dass die DL2-Werte für verschiedene Streukörperdichten (Maschinenbelegungsgrade) ebenfalls berechnet werden können.

5.4 Berechnung der Schallausbreitungskurve SAK und Bestimmung von DL2

Die Berechnungen in Ziff. 5.3 liefern uns auch gleich den voraussichtlichen Verlauf der Schallausbreitungskurven und die für die Beurteilung wichtige Grösse DL2. In Bild 23 sind die Ergebnisse für die Varianten 1 und 2 für einen geringen Maschinenbelegungsgrad dargestellt. Die einzelnen Ergebnisse für DL2 sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

5.5 Beurteilung der Berechnungsergebnisse

Vergleicht man die Ergebnisse der Berechnungen mit den Grenzwerten, so stellt man fest, dass bei der Variante mit den glatten Profilblechen die Grenzwerte deutlich überschritten werden. Bei der Variante mit den perforierten Profilblechen ergeben sich Werte, die die Anforderungen erfüllen.

5.5.1 Vergleich

Interessant ist ein Vergleich der Prognoseergebnisse, wie er in Tabelle 9 zusammengestellt ist.

5.5.2 Interpretation

a. Nachhallzeiten

Erwartungsgemäss besteht bei der Variante «glatte Profilblechdecke» kein relevanter Unterschied zwischen den bei den Berechnungsverfahren (klassische Methode/Computerprogramm), sofern mit einem leeren Raum gerechnet wird. Werden jedoch Raumeinbauten (Maschinen als Streukörper) bei den Berechnungen berücksichtigt, sind die Abweichungen massiv.

Diese Feststellung wird – wie bereits bei den Grundlagen erwähnt – auch in der Praxis gemacht, entsprechen doch die Nachhallzeit-Prognosewerte in vielen Fällen nicht den Messwerten im belegten Zustand, auch wenn hierfür eine Korrektur angebracht wird.

Bei der Variante «perforierte Profilblechdecke» sind die Differenzen zwischen den Berechnungsmethoden relativ gering, weil die Streukörperdichte auf die Rechenergebnisse keinen so grossen Einfluss mehr ausübt.

b. Pegelabnahme bei Distanzverdoppelung (DL2)

Die Pegelabnahme DL2 liefert verglichen mit der Nachhallzeit präzisere Informationen über die zu erwartenden raumakustischen Verhältnisse. Interessant ist beispielsweise der Vergleich zwischen einer Halle ohne Akustikdecke, aber grossem Maschinenbelegungsgrad, und einer praktisch leeren Halle, aber mit Akustikdecke. Der Nachhallzeitvergleich zeigt hier, dass in der leeren Halle mit Akustikdecke die Nachhallzeiten um mindestens einen Faktor 2 kleiner sind. Die Grösse DL2 führt uns vor Augen, dass eine Halle mit hohem Maschinenbelegungsgrad, aber ohne Akustikdecke, besser ist! Die Praxis bestätigt, dass die zweite Prognose zutreffend ist.

5.6 Mittlerer Absorptionsgrad $\bar{\alpha}_s$

Mithilfe des Schallschluckvermögens A (Ziff. 5.2.4, Nachhallzeitberechnungen) und der gesamten Raumboberfläche lassen sich die Mittelwerte für $\bar{\alpha}_s$ bestimmen. Für A bildet man vorerst den Mittelwert über alle Frequenzen:

Variante 1: $A_{m1} = 164 \text{ m}^2$

Variante 2: $A_{m2} = 680 \text{ m}^2$

Die gesamte Raumboberfläche beträgt

$S_v = 2260 \text{ m}^2$.

Somit wird:

$$\text{Variante 1: } \bar{\alpha}_{s1} = \frac{A_{m1}}{S_v} = \frac{164}{2260} = 0,073$$

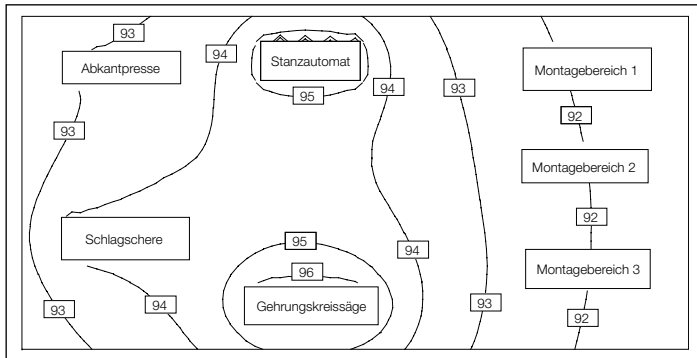
$$\text{Variante 2: } \bar{\alpha}_{s2} = \frac{A_{m2}}{S_v} = \frac{680}{2260} = 0,30$$

Der Zielwert von $\bar{\alpha}_s \geq 0,25$ gemäss Ziff. 3.2 ist für Variante 2 erfüllt.

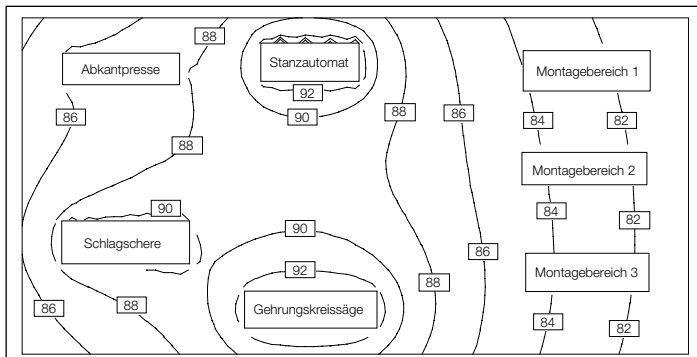
Elegant ist die Anwendung des bereits erwähnten Computerprogramms: Dieses liefert uns die gesuchten $\bar{\alpha}_s$ -Werte direkt.

Variante 1: $\bar{\alpha}_{s1} = 0,08$

Variante 2: $\bar{\alpha}_{s2} = 0,32$



24 Schalldruckpegelverteilung in einer Fabrikationshalle ohne raumakustische Massnahmen (DL2 = 1,8 dB). In der ganzen Halle wird ein Schalldruckpegel von 92–96 dB(A) prognostiziert.



25 Schalldruckpegelverteilung in derselben Fabrikationshalle, jedoch mit raumakustischen Massnahmen (DL2 = 4,2 dB). Der Schalldruckpegel fällt gegen den Montagebereich deutlich auf etwa 82–84 dB(A) ab.

5.7 Prognosen für die Schallpegelverteilung

Am aussagekräftigsten unter allen Prognoseverfahren ist die Vorhersage der Schallpegelverteilung in einem Arbeitsraum (Lärmtopographie). Hierbei ist speziell der Vergleich mit und ohne raumakustische Massnahmen interessant. Allerdings müssen für diesen Fall die Emissionswerte der Maschinen und Anlagen (Schallleistungspegel L_W) sowie das Maschinenlayout bekannt sein. Eine solche Berechnung ist wiederum nur mit einem leistungsfähigen Computerprogramm möglich. Ein Beispiel einer solchen Berechnung für den gleichen Raum (Grundlage: Raumdaten gemäss Ziff. 5.2.3) ist in den Bildern 24 (ohne raumakustische Massnahmen) und 25 (mit raumakustischen Massnahmen) dargestellt. (Aus drucktechnischen Gründen leider nur schwarzweiss). Hierbei wird von folgenden Emissionspegeln ausgegangen:

- Abkantpresse: $L_W = 95 \text{ dB(A)}$
- Schlagschere: $L_W = 102 \text{ dB(A)}$
- Stanzautomat: $L_W = 105 \text{ dB(A)}$
- Gehrungskreissäge
für Aluminium: $L_W = 107 \text{ dB(A)}$
- Montagebereiche 1–3: $L_W = 80 \text{ dB(A)}$

Die entsprechenden Arbeitsplatzpegel (Schalldruckpegel) liegen etwa 10 dB(A) tiefer.

Interpretation

Ohne raumakustische Massnahmen (Bild 24) liegt der prognostizierte Schalldruckpegel im Montagebereich bei 92 dB(A); persönliche Gehörschutzmittel sind demzufolge in der ganzen Halle erforderlich. Mit raumakustischen Massnahmen (Akustikdecke) hingegen sinkt der Schalldruckpegel im Montagebereich auf 82–84 dB(A), und Gehörschutzmittel sind nur noch beim Arbeiten an den vier Maschinen notwendig.

Dieses Beispiel illustriert nicht nur sehr eindrücklich die Wirkung von raumakustischen Massnahmen, sondern zeigt auch eine einfache und allgemein verständliche Form einer Lärmprognose.

5.8 Zusammenfassung

Die Beispiele zeigen, dass grobe raumakustische Beurteilungen bereits mit einfachen Mitteln möglich sind, an die sich auch ein Nichtakustiker wagen kann. Dies trifft insbesondere auf hallige, noch nicht belegte Räume zu. Werden aber an die Qualität der Prognosen höhere Anforderungen gestellt, müssen auch entsprechende Hilfsmittel eingesetzt werden. Speziell bei Sanierungen unbefriedigender Räume mit viel Hall, werden die erforderlichen Berechnungen aufwändiger. Wenden Sie sich in solchen Fällen an einen Spezialisten (Akustiker). Adressen finden Sie in den Firmenverzeichnissen auf www.sga-ssa.ch oder unter www.laerm.ch.

Wirkungsvolle raumakustische Massnahmen in industriellen Räumen führen erwiesenermassen zu einer deutlichen Verbesserung der Arbeitsplatzverhältnisse.

6 Stellwände

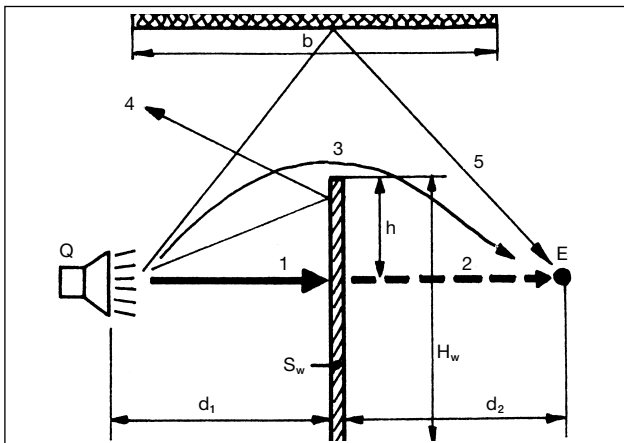
6.1 Einleitung

Mithilfe von raumunterteilenden Systemen kann die Raumakustik ebenfalls beeinflusst werden. Die zur Grob- beurteilung notwendigen Grundlagen unterscheiden sich jedoch wesentlich von denjenigen der bereits vorgestellten Raumakustik. Aus diesem Grunde werden hier die Probleme der Stellwände in einem separaten Abschnitt vorgestellt.

Die Wirkung von Teiltrennwänden, Stellwänden, mobilen Wänden oder wie immer sie auch bezeichnet werden, hängt von verschiedenen Einflussgrößen ab. Meistens besteht ja der Wunsch, mit diesen Einrichtungen laute und leise Arbeitsbereiche voneinander zu trennen.

6.2 Akustische Wirkung einer Stellwand

In Bild 26 sind die akustischen Merkmale einer Stellwand dargestellt:



26 Akustische Merkmale einer Stellwand.

- Q = Schallquelle
- E = Empfänger
- SW = Stellwand
- d_1 = Abstand Quelle – Stellwand
- d_2 = Abstand Stellwand – Empfänger
- H_w = Stellwandhöhe
- h = wirksame Stellwandhöhe
- b = Breite Akustikdecke

Der Direktschall (1) trifft auf die Wand auf, ein Teil davon (2) tritt durch die Wand hindurch und kommt beim Empfänger an. Tiefere Frequenzen werden über die Wandkante gebeugt (3). Ein Teil des Schalls wird an der Wand (4) und an der Decke (5) reflektiert.

Ohne die einzelnen Schallanteile speziell zu gewichten, kann ein Anforderungskatalog für Stellwände formuliert werden.

6.3 Anforderungen an eine Stellwand

- Eine Stellwand soll eine ausreichende Luftschalldämmung aufweisen. Meistens genügt ein bewertetes Bauschalldämm-Mass von $R'_w \geq 20$ dB.
- Die dem Lärm zugewandte Seite einer Stellwand soll absorbierend ausgeführt sein. Ein mittlerer Absorptionsgrad von $\bar{\alpha}_s \geq 0,7$ ist anzustreben.
- Die wirksame Höhe h soll möglichst gross sein, da nur sie allein und nicht etwa die Stellwandhöhe H , die Wirksamkeit bestimmt.
- Die Stellwand soll möglichst nahe bei der Lärmquelle oder beim Empfänger aufgestellt werden, d.h. es soll ein möglichst grosser Unterschied zwischen d_1 und d_2 bestehen.
- Zur Vermeidung von Bodenreflexionsanteilen soll der Bodenspalt so klein wie konstruktiv möglich gehalten werden.
- Eine der wichtigsten Forderungen ist die absorbierende Verkleidung der Decke oberhalb der Stellwand. Die notwendige Breite b hängt vom Standort der Lärmquelle ab, bewegt sich aber normalerweise im Bereiche von 1,5- bis 2-mal die Raumhöhe.

6.4 Wirksamkeit einer Stellwand

Die Wirksamkeit einer Stellwand wird mit Hilfe des Einfügungsdämm-Masses ΔL_e beschrieben. Hierbei misst man an einer abzuschirmenden Stelle ohne und mit Stellwand den Schalldruckpegel und bezeichnet die Differenz als ΔL_e . Das theoretisch erzielbare Maximum liegt bei ca. $\Delta L_e = 15$ dB. Erschwerend für genaue Berechnungen ist die Tatsache, dass ΔL_e frequenzabhängig ist. An dieser Stelle soll deshalb ein vereinfachtes Abschätzverfahren vorgestellt werden, das für normale Maschinengeräusche für den bewerteten Gesamtschallpegel in dB(A) recht brauchbare Ergebnisse liefert.

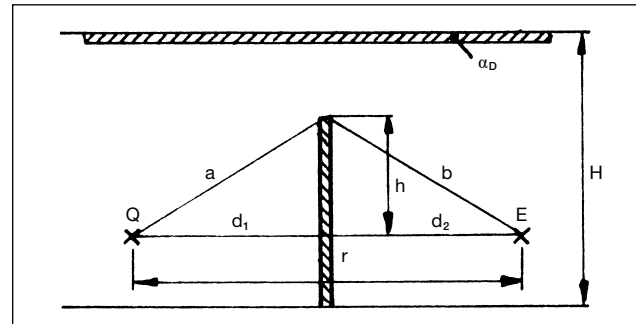
Zur Berechnung werden die Größen nach Bild 27 verwendet (vgl. auch Ziff. 6.2):

Vorerst wird mit dem Diagramm (Bild 28) das theoretische Einfügungsdämm-Mass ΔL_z bestimmt. Zur Vereinfachung wird die Annahme $a = b$ bzw. $d_1 = d_2$ getroffen. In Abständen von mehr als 5 m kann zur weiteren Vereinfachung $a = d_1$ bzw. $b = d_2$ gesetzt werden.

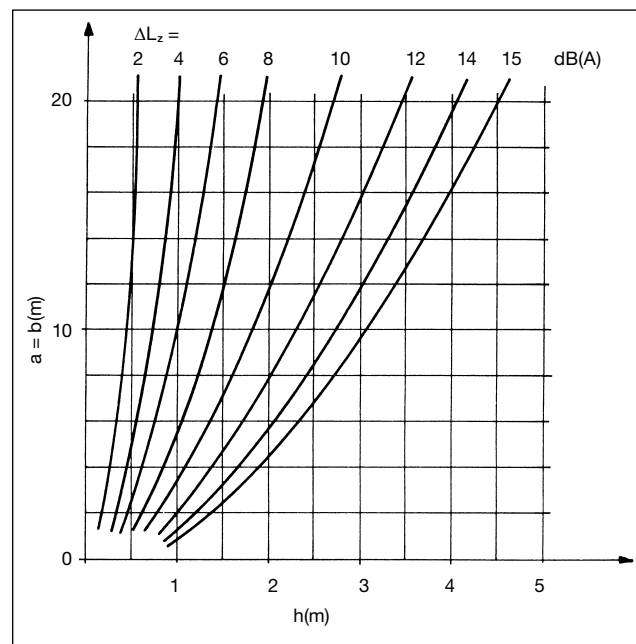
Das Einfügungsdämm-Mass ΔL_e einer Stellwand wird wesentlich durch das Absorptionsvermögen der Decke beeinflusst. Je kleiner der mittlere Absorptionsgrad α_D ist, je stärker wird ΔL_z reduziert. Mit anderen Worten:

Soll die Wirksamkeit einer Stellwand möglichst gross sein, muss die Decke gut absorbierend ausgebildet sein.

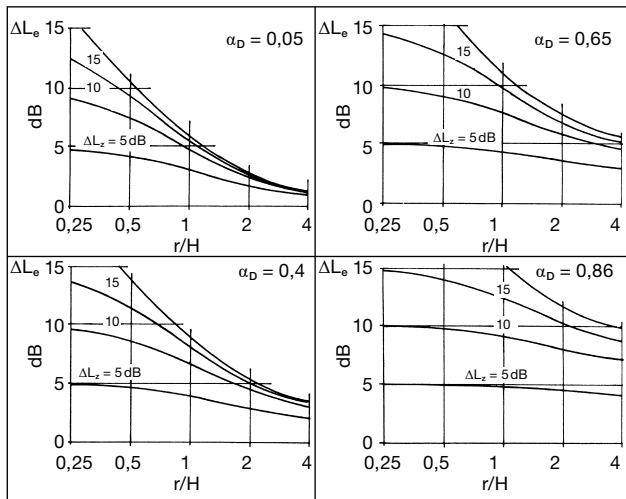
Dieser Zusammenhang ist in Bild 29 dargestellt.



27 α_D = Absorptionskoeffizient der Decke
 h = wirksame Wandhöhe



28 Diagramm zur Bestimmung des theoretischen Einfügungsdämm-Masses ΔL_z in Funktion der Abstände $a = b$ und der wirksamen Wandhöhe h .



29 Einfügungsdämm-Mass ΔL_e in Funktion des theoretischen Einfügungsdämm-Masses ΔL_z , des Absorptionsvermögens der Decke und des Verhältnisses r/H für Flachhallen.
 $\alpha_D = 0$: Beton, Metallprofildecken
 $\alpha_D = 0,4$: Mittlere Akustikdecke (z. B. in Schalung eingelegte Materialien)
 $\alpha_D = 0,65$: Gute Akustikdecke, üblich für Industrieräume
 $\alpha_D = 0,86$: Sehr gute Akustikdecke, nur in Spezialräumen

6.5 Berechnungsbeispiel

Lärmquelle und Empfänger befinden sich je 6 m von der Stellwand entfernt. Die wirksame Wandhöhe beträgt 1,5 m und der Raum ist 6 m hoch. An der Decke ist eine mittlere Akustikdecke montiert. Wie gross ist die Wirkung dieser Stellwand?

Gegeben: $a = b = 6 \text{ m}$
 $h = 1,5 \text{ m}$
 $r = 12 \text{ m}$
 $H = 6 \text{ m}$
 $\alpha_D = 0,4$

Gesucht: ΔL_e

Lösung: Nach dem Diagramm wird
 $\Delta L_z = 11 \text{ dB(A)}$
 $r/H = 12/6 = 2$

Somit wird:

$\Delta L_e = 5 \text{ dB(A)}$

Auf den ersten Blick überrascht das Ergebnis! Es entspricht aber den in der Praxis gemachten Erfahrungen und belegt eindrücklich, wie viel es braucht, damit eine Stellwand eine maximale Wirkung erzielt.

6.6 Beispiele aus der Praxis

In den Bildern 30 bis 32 werden drei praktische Beispiele von Stellwänden gezeigt. Die Stellwand in Bild 30 ist beinahe unwirksam, weil die Decke nicht absorbierend ausgeführt wurde. (Die messtechnisch nachgewiesene Pegelreduktion liegt je nach Abstand zwischen 2 und 3 dB(A)). Die Variante in Bild 31 zeigt eine Raumunterteilung mit einer sogenannten Blende, die in einer Höhe von etwa 3 m über Boden beginnt und unter der Decke endet. Die Wirkung einer solchen Blende kann durchaus mit derjenigen einer Stellwand verglichen werden. Ziel einer solchen Massnahme ist die akustische Entkoppelung einzelner Lärmbereiche. Sie eignet sich in erster Linie für grosse Räume. Bild 32 zeigt eine Ausführungsvariante für eine Stellwand für den industriellen Einsatz.

6.7 Zusammenfassung

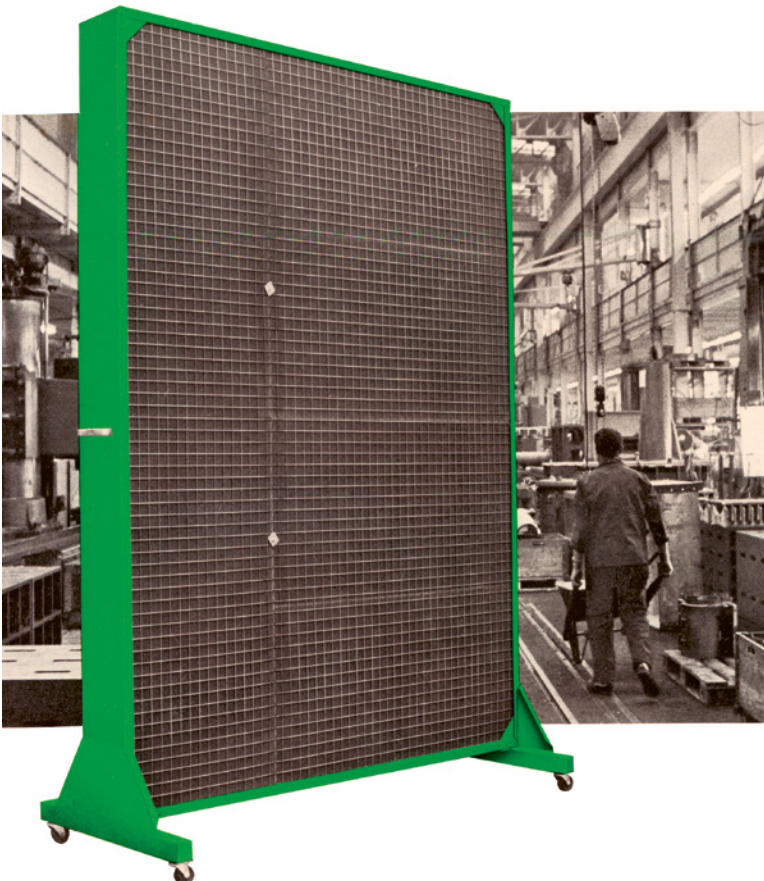
Die dargelegten Berechnungsgrundlagen zeigen, dass sich mit Stellwänden keine Schallpegelreduktionen von mehr als ca. 10 dB(A) realisieren lassen. Die Wirksamkeit wird erheblich durch das Schallschluckvermögen der Decke beeinflusst.



30 Stellwand mit kleiner Wirkung (Deckenabsorption fehlt).



31 Blende zur akustischen Entkoppelung einzelner lärmintensiver Arbeitsbereiche.



32 Beispiel einer mobilen Stellwand für Betriebe, in denen solche Wände mechanisch stark strapaziert werden, z.B. in Stahl- und Metallbaubetrieben (Quelle: Otto Ramseyer, Bern).

7 Schlussbemerkung

Wir haben dargelegt, wie die industrielle Raumakustik einen wesentlichen Beitrag zur Gestaltung humaner Arbeitsplätze leisten kann. Die Kosten für den Schallschutz scheinen – je nach Grösse des Objekts – oft recht hoch zu sein. Ein Vergleich mit dem Gesamtaufwand für ein Bauvorhaben relativiert jedoch diesen Eindruck.

Neue Mess- und Beurteilungsverfahren führen heute zu einer deutlich grösseren Sicherheit der Prognosen. Mit Hilfe moderner Verfahren (z. B. Lärmkarten) ist es auch möglich, dem Laien die Wirkung von absorbierenden Flächen in einem Raum anschaulich zu machen. Gleichzeitig kann aber auch deutlich gezeigt werden, wo die Grenzen solcher Massnahmen liegen.

Der Bauherr, Betriebsinhaber, Architekt oder Ingenieur kommt heute nicht mehr darum herum, den Problemen der Raumakustik auch im Industriebau vermehrt Beachtung zu schenken. Im Zentrum von diesbezüglichen Betrachtungen stehen nicht mehr Empfehlungen, sondern die gesetzlichen Vorschriften, die den Stand der Baukunst festlegen. Wir haben gezeigt, welche Möglichkeiten für die Prognose, die Beurteilung und die praktische Ausführung bestehen. Wir wollen in dieser Publikation das Verständnis für diese Probleme fördern.



33 Fabrikation mit Baffeln an der Decke.

Das Modell Suva Die vier Grundpfeiler



Die Suva ist mehr als eine Versicherung; sie vereint Prävention, Versicherung und Rehabilitation.



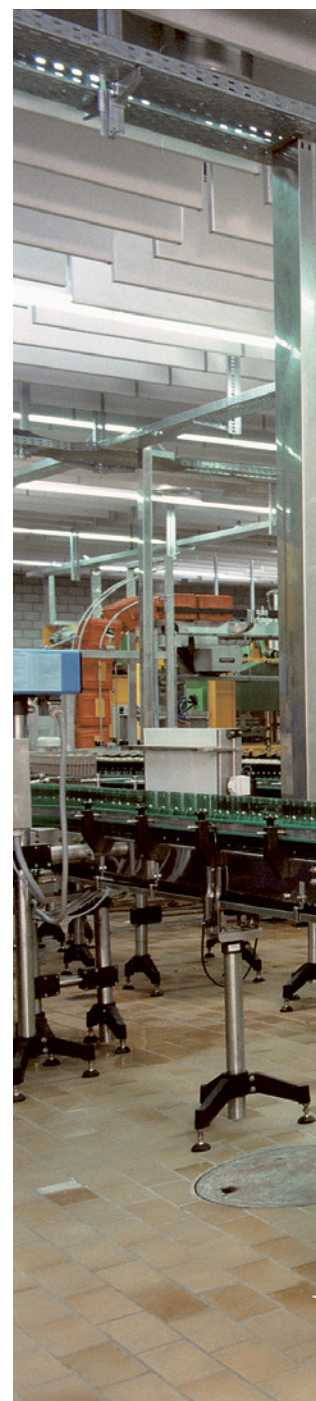
Gewinne gibt die Suva in Form von tieferen Prämien an die Versicherten zurück.



Die Suva wird von den Sozialpartnern geführt. Die ausgewogene Zusammensetzung des Suva-Rats aus Vertreterinnen und Vertretern von Arbeitgeberverbänden, Arbeitnehmerverbänden und des Bundes ermöglicht breit abgestützte, tragfähige Lösungen.



Die Suva ist selbsttragend; sie erhält keine öffentlichen Gelder.



Suva
Postfach, 6002 Luzern

Auskünfte
Bereich Chemie, Physik und Ergonomie
Tel. 058 411 12 12
kundendienst@suva.ch

Download
www.suva.ch/66008.d

Titel
Industrielle Raumakustik

Abdruck – ausser für kommerzielle
Nutzung – mit Quellenangabe gestattet.
Erstausgabe: Juni 1989
Überarbeitete Ausgabe: Mai 2022

Publikationsnummer
66008.d (nur als PDF erhältlich)