



Acoustic roundtable

Moritz Späh
Gummersbach, 12. September 2023

Fraunhofer IBP - Abteilung Akustik

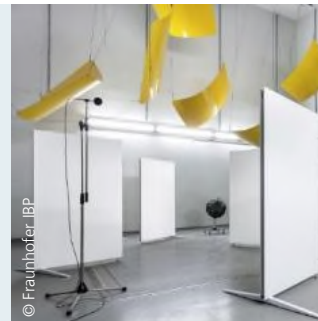
Organisation und Kompetenzen

Arbeitsgruppen und Tätigkeitsfelder

Bauakustik



Digitale und nachhaltige Akustik



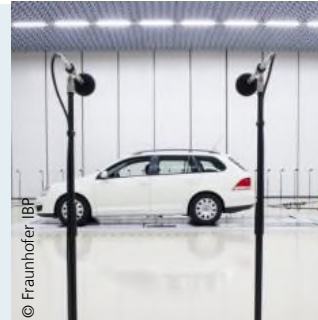
Psychoakustik und kognitive Ergonomie



Technischer Schallschutz



Fahrzeugakustik

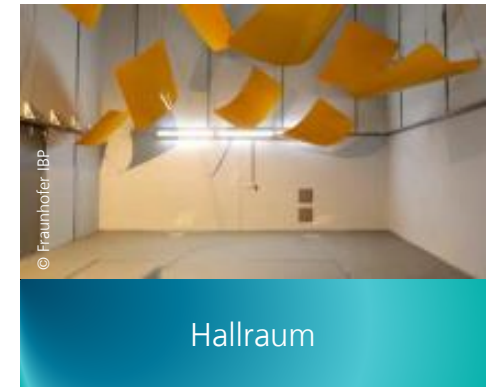
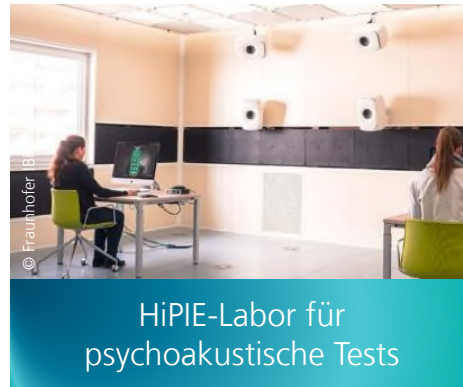


Akkreditierte Prüfstelle



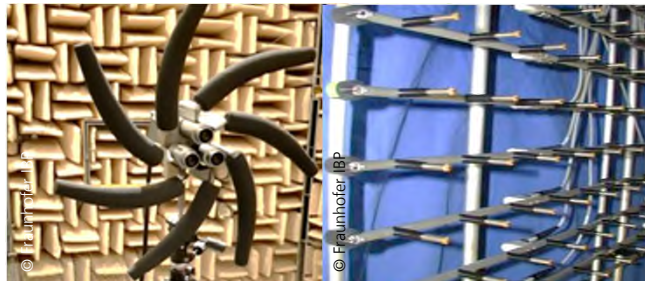
Unsere Prüfstände und Labore

Allen akustischen Ansprüchen gewachsen

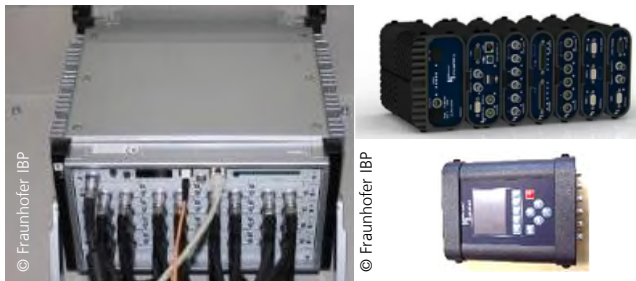


Analyseverfahren für Akustik und Schwingungen

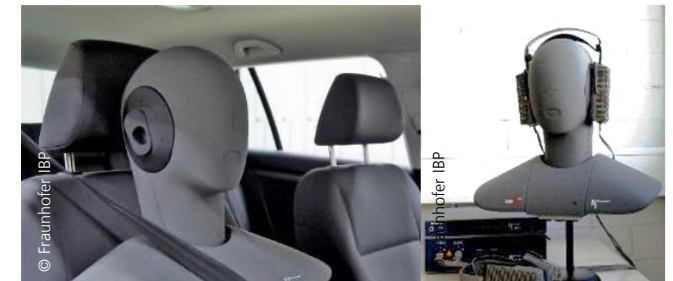
Breites Spektrum abgedeckt



Mikrofon-Arrays



Mehrkanalige Messtechnik



Binaurale Aufnahme / Wiedergabe



Laser-Doppler-Vibrometrie



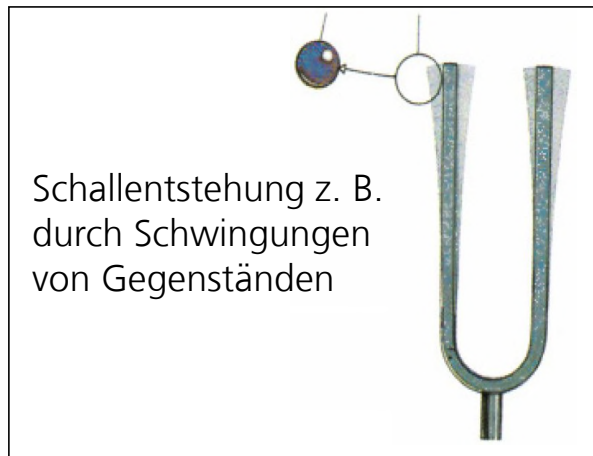
Sensoren



Kennwerte, z. B. Impedanzrohr

Wichtige Akustik-Grundlagen

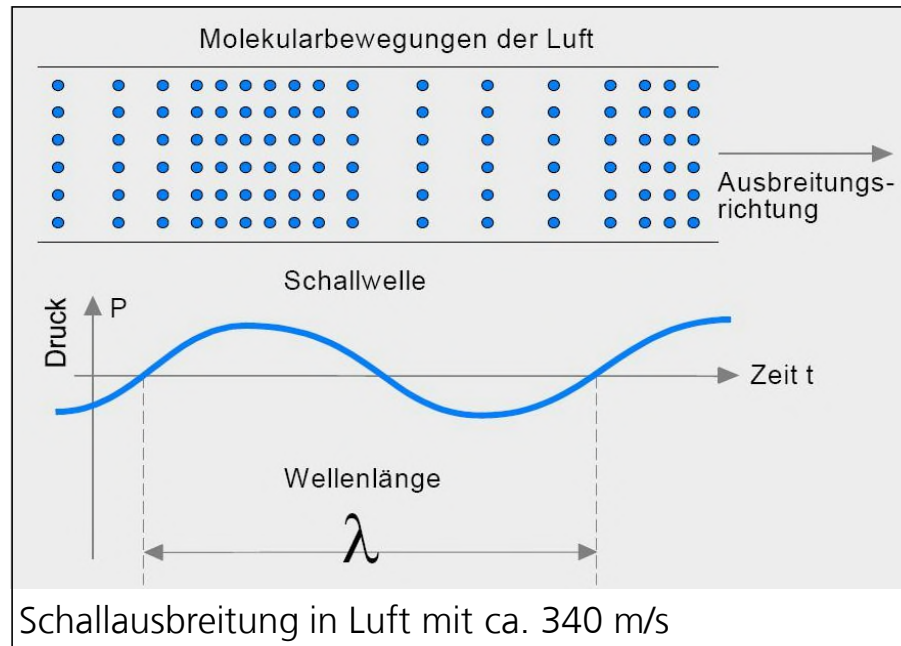
— Schall = wellenförmige Ausbreitung periodischer Druckschwankungen



Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit:

$$c = (331,2 + 0,6 \Theta) \text{ m/s}$$

mit Θ = Temperatur in $^{\circ}\text{C}$



Wellenlänge

100 Hz: $l = 3,4 \text{ m}$

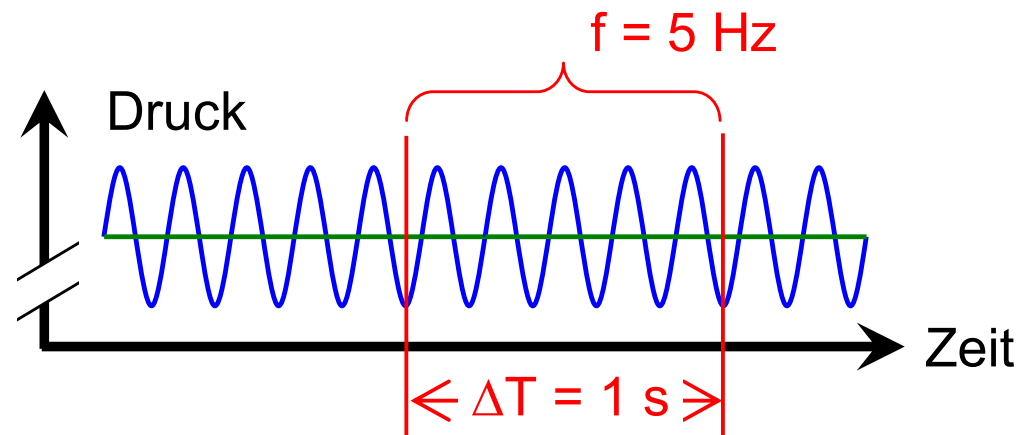
1000 Hz: $l = 34 \text{ cm}$

10 kHz: $l = 3,4 \text{ cm}$



Wichtige Akustik-Grundlagen

Frequenz = Anzahl der Schwingungsperioden pro Sekunde



Hörbereich des Menschen: 20 Hz bis 20 000 Hz
Raumakustik: 100 Hz bis 5000 Hz

Wichtige Akustik-Grundlagen

— Pegel: Reduktion des akustischen Wertebereichs von

$$p = 2 \cdot 10^{-5} - 20 \text{ N/m}^2$$

auf einen Schalldruckpegel von

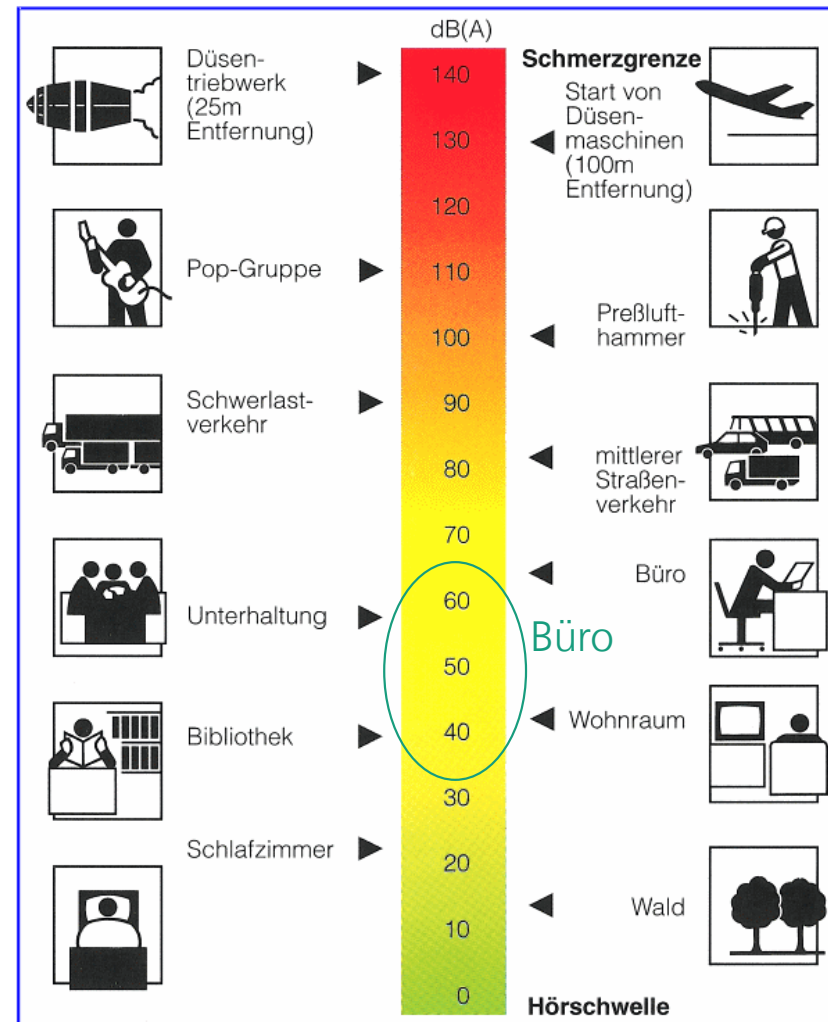
$$L = 0 - 120 \text{ dB}$$

Schalldruckpegel:

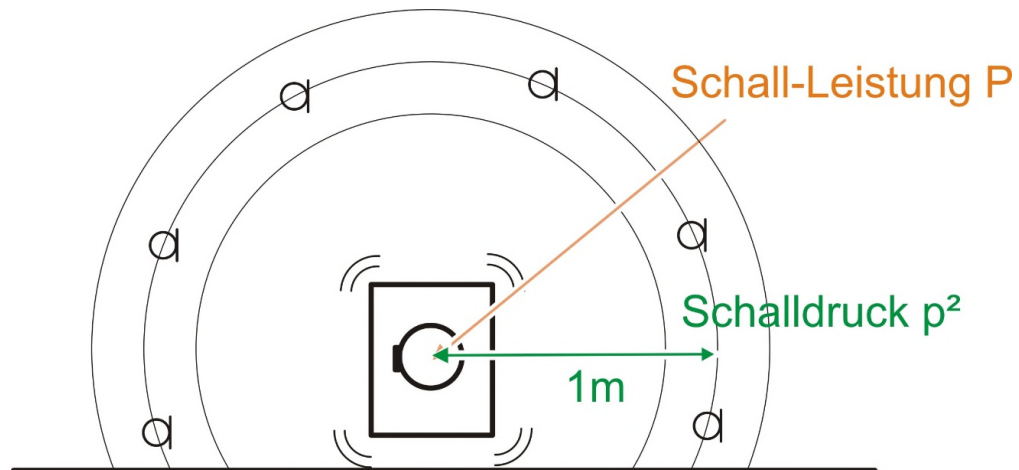
$$L = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right) \text{ dB}$$

mit $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$

(Umgebungsdruck ca. $1000 \text{ hPa} = 1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$)



Wichtige Akustik-Grundlagen



$$L_{P(K,1m)} = L_w - 11 \text{ dB}$$

Zusammenhang von Schall-Leistung und Schalldruck

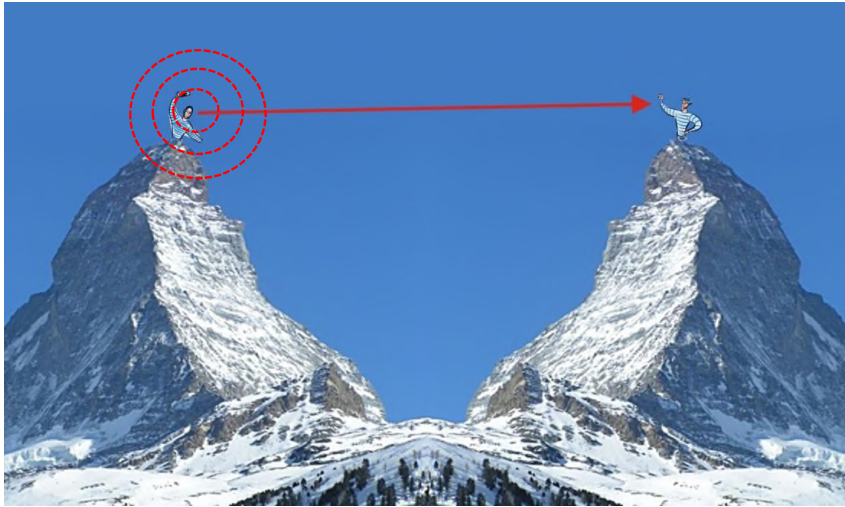
$$L_P = L_w - 10 \lg(S) \text{ dB}$$

mit S der Kugeloberfläche

Bei einer Hüllfläche von 1 m^2 ist $L_P = L_w$
(z.B. Halbkugel mit $0,4 \text{ m}$ Radius oder
Kugel mit $0,28 \text{ m}$ Radius)

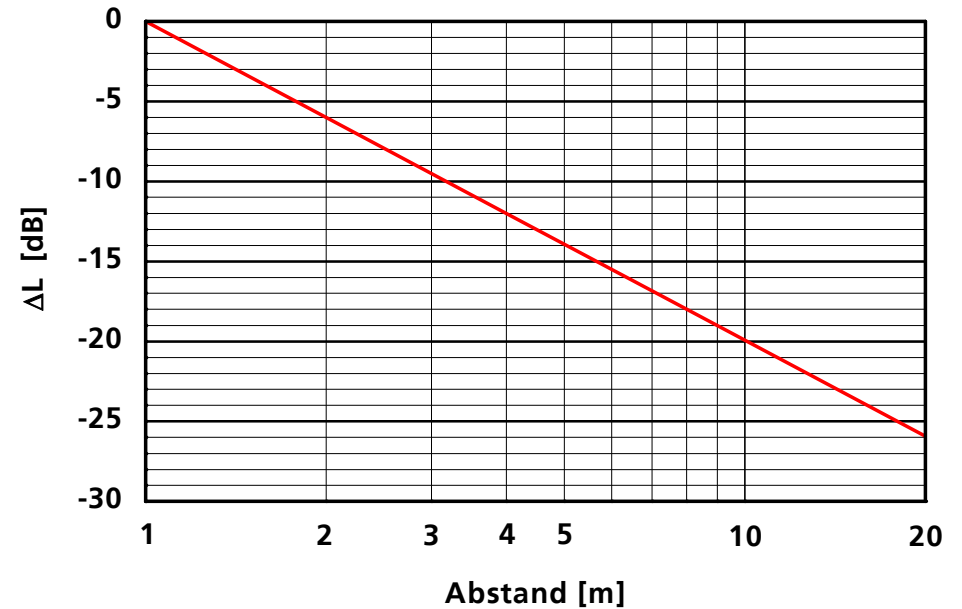
Wichtige Akustik-Grundlagen

Freifeld



Schallausbreitung auf Kugeloberfläche:

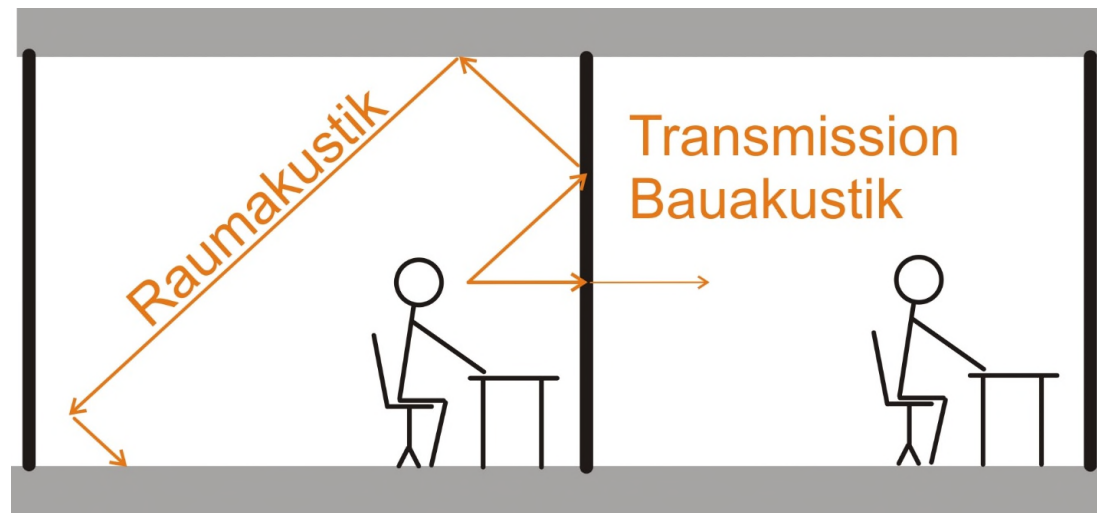
$$S = 4 \pi r^2$$



$$L_p \sim 10 \lg(r^2) = 20 \lg(r)$$

=> Abnahme: 6 dB pro Entfernungsverdopplung

Raumakustik und Bauakustik

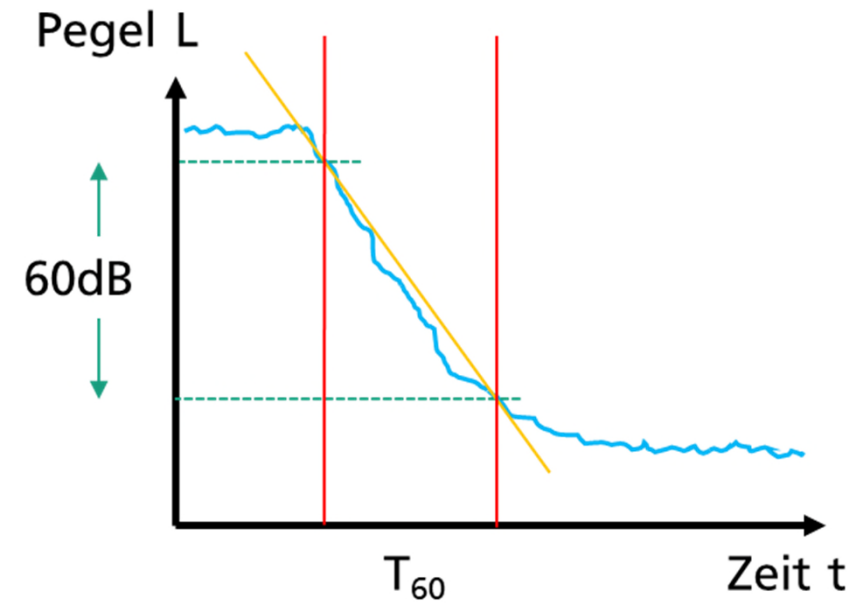


Nachhallzeit
Schallabsorption
Sprachverständlichkeit
Störung durch Sprache
...

Transmission
Schalldämmung
Nebenwegsübertragung
...

Raumakustik - Nachhallzeit

- Wichtigste Größe in der Raumakustik
- beschreibt die Halligkeit eines Raumes
- Ist abhängig vom Raumvolumen,
- der Raumform,
- der Ausstattung des Raumes
 - Der Oberflächenmaterialien
 - Der Möblierung
 - Den Personen im Raum



Raumakustik - Nachhallzeit

Berechnung nach Sabine

$$T_{60} = 0.163 \frac{V}{S \cdot \bar{\alpha}} = 0.163 \frac{V}{A}$$

T_{60} = Nachhallzeit [s]

V = Volumen [m³]

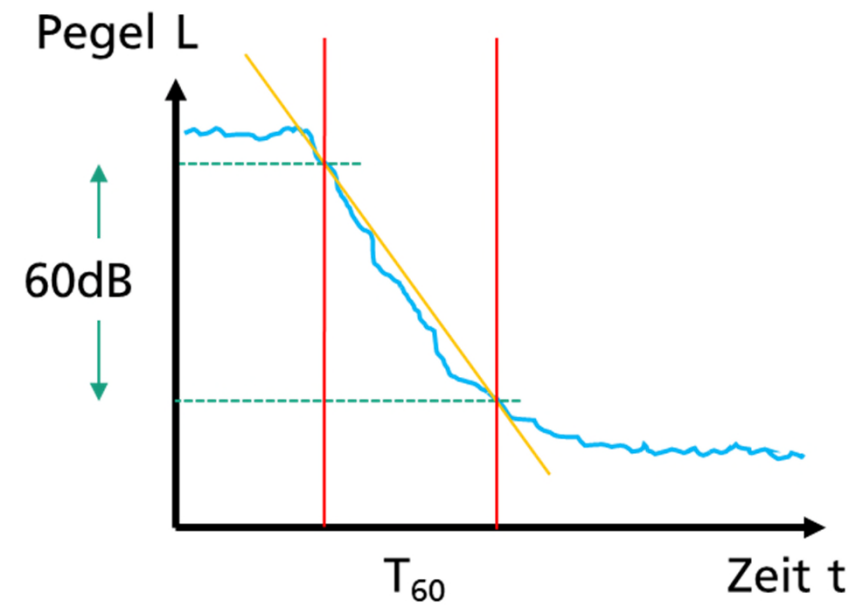
S = Raumboberfläche [m²]

α = Absorptionskoeffizient [-]

$A = S \cdot \alpha$ = äquivalente Absorptionsfläche [m²]

Nur gültig für diffuses Schallfeld!

Allgemeingültige Berechnung: www.reverberate.de



Nahfeld und Fernfeld einer Schallquelle

Nah einer Schallquelle im Raum ist das Nahfeld der Quelle dominant

6 dB Pegelabnahme bei einer Punktquelle

Bei größeren Entfernungen von der Quelle wird der Schalldruckpegel im Diffusfeld des Raumes konstant

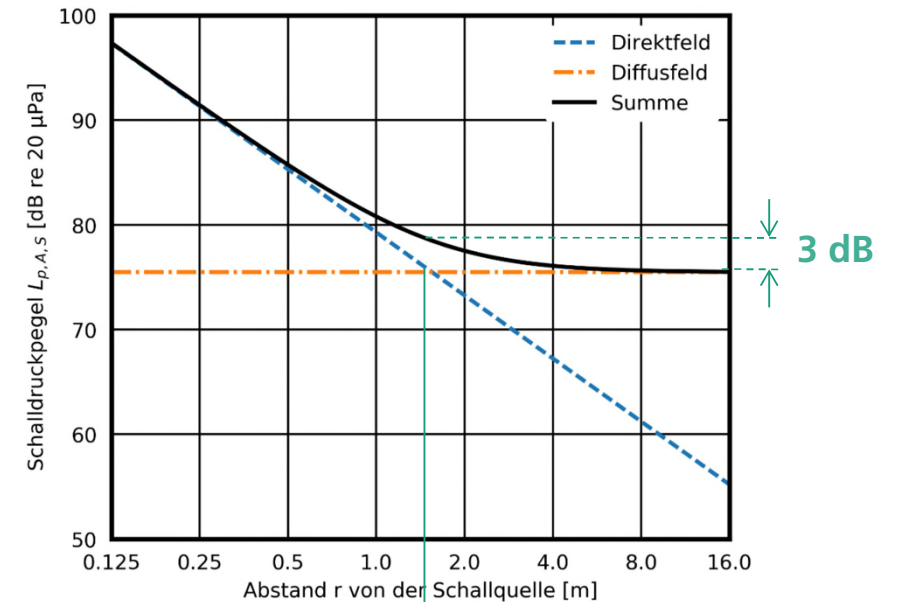
Der Übergangspunkt wird Hallradius r_H genannt

Beispiele:

Kompakte Besprechungsräume

Ein- oder Zweipersonenbüros

Fraunhofer IBP



$$r_H = \sqrt{\frac{S\bar{\alpha}}{16\pi(1-\bar{\alpha})}}$$

$$r_H \approx \frac{\sqrt{A}}{7}$$

Pegel einer Schallquelle im Raum

$$L_p = L_W + 10 \log \left(\frac{0,163}{r^2} + \frac{4}{A} \right)$$

Nahfeld Diffusfeld

L_p = Schalldruckpegel im Raum [dB]

L_W = Schalleistungspegel der Quelle [dB]

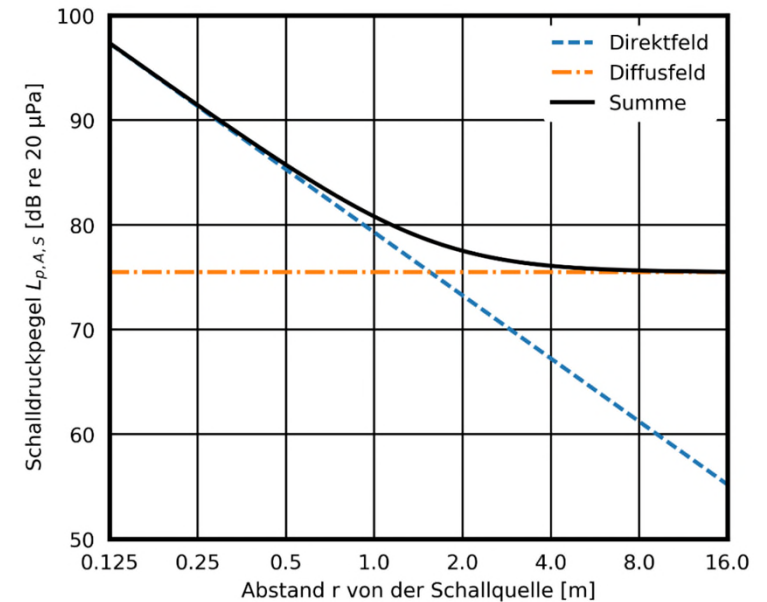
r = Abstand von der Quelle [m]

A = Äquivalente Absorptionsfläche [m²]

Bei größeren Entfernungen von der Quelle (im Diffusfeld) ist der Pegel nur von der Schalleistung der Quelle und der äquivalenten Absorptionsfläche im Raum abhängig

Bei Verdoppelung der äquivalenten Absorptionsfläche (Verdoppelung der Absorber) wird der Pegel im Diffusfeld um 3 dB reduziert

Titelbild: © Fraunhofer IBP



Schallausbreitung in Großraumbüros

Kein diffuses Schallfeld

Flachraum mit ungleichmäßiger Verteilung der Absorption

Raumausstattung mit Regalen und abschirmenden Einbauten

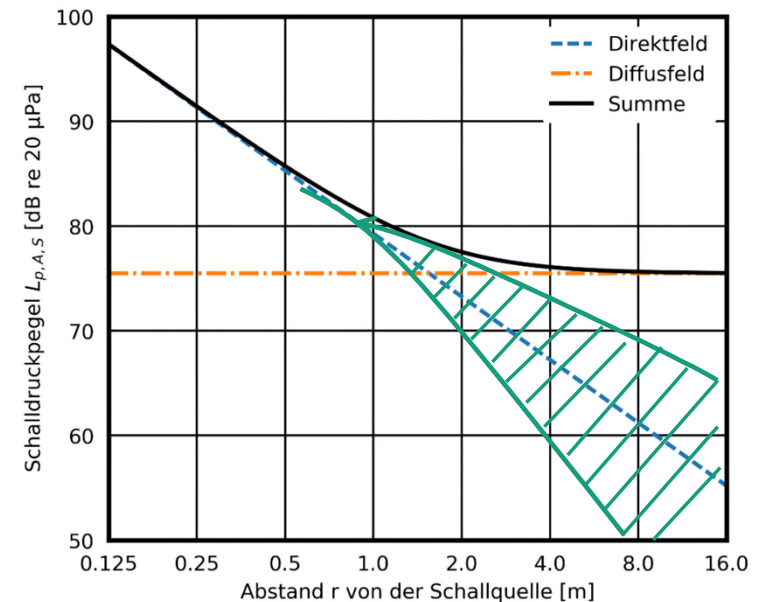
Pegelabnahme mit Entfernung von der Quelle

Wichtigstes Problem: hohe Sprachverständlichkeit, d.h. Störung durch unerwünschte Sprache

Ziel: Gruppierung von Personen, die zusammenarbeiten (leichter Austausch von Informationen)

Notwendig: Abschirmung von anderen Personen, die stören oder gestört werden

Organisatorisch: Bereitstellung von ausreichenden Bereichen für ungestörtes Arbeiten: Pods, Besprechungsräume, Rückzugsbereiche...

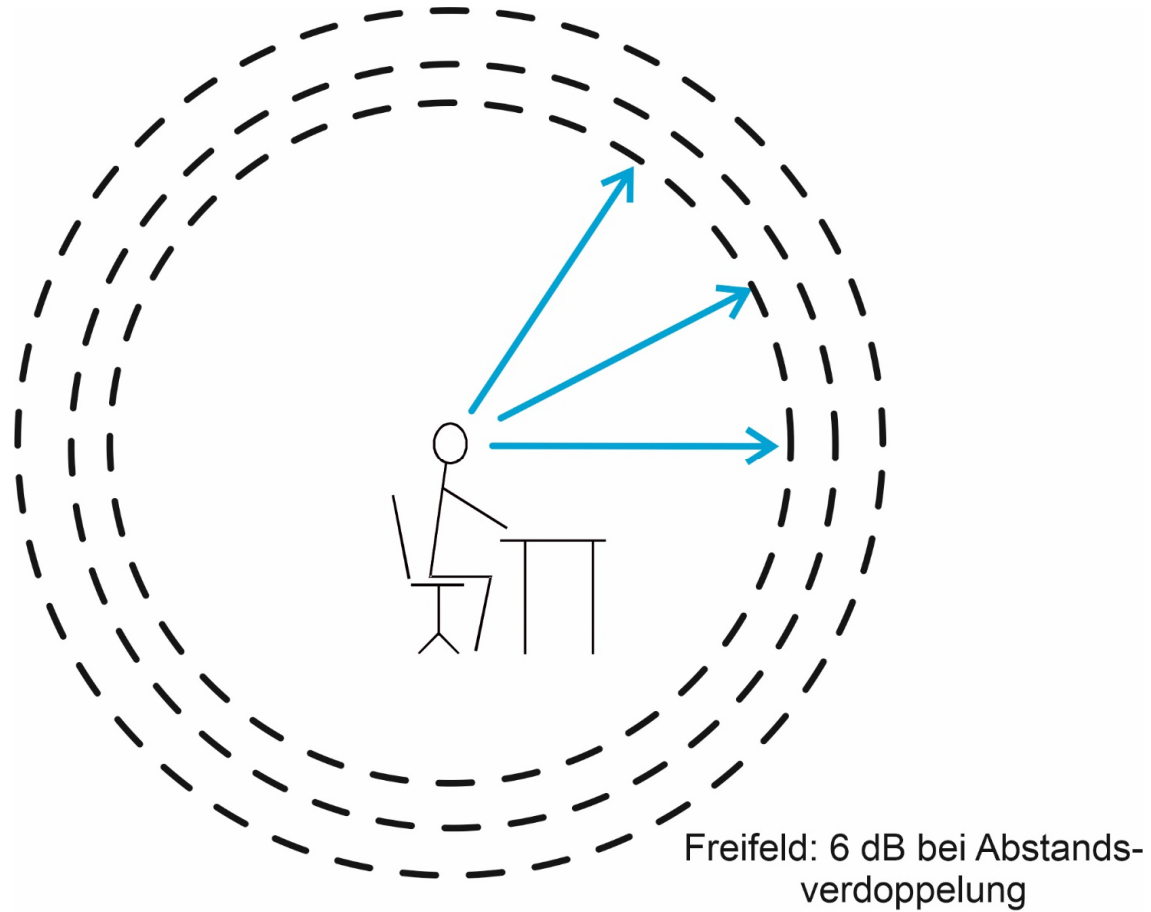


■ Freifeld: $D_{2,S} = 6$ dB

■ ISO 3382-3: $D_{2,S} \geq 7$ dB

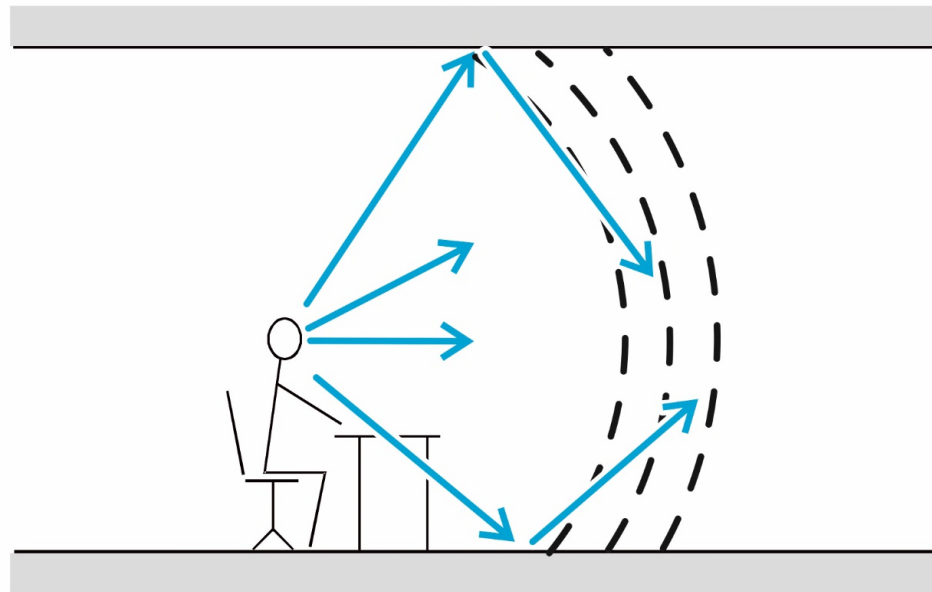
Raumakustik in Großraumbüros

■ Freifeld



Raumakustik in Großraumbüros

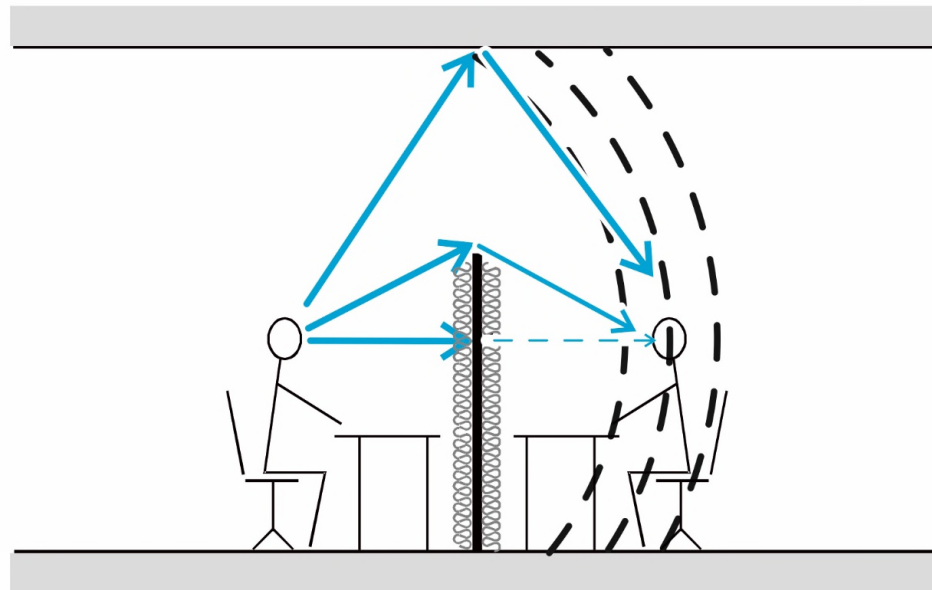
- Kein Freifeld
- Kein diffuses Schallfeld



Im Raum: deutlich weniger Reduktion durch Reflektionen an Decke und Boden

Raumakustik in Großraumbüros

- Kein Freifeld
- Kein diffuses Schallfeld

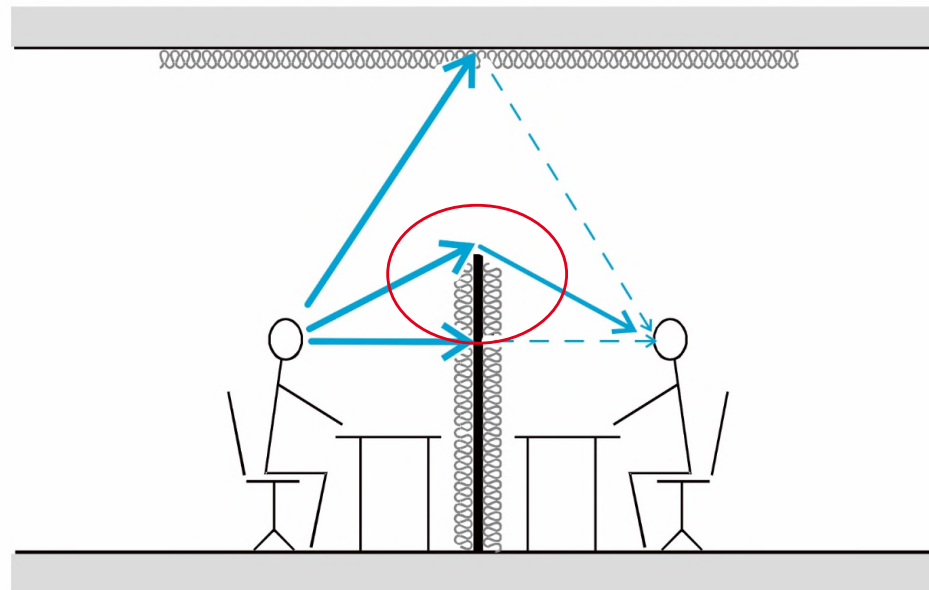


Abschirmung reduziert den Direktschall
geringe Wirkung bei reflektierender Decke

Raumakustik in Großraumbüros

- Kein Freifeld
- Kein diffuses Schallfeld

Absorption an den umgebenden Oberflächen
z.B. akustische Unterdecke oder Absorber

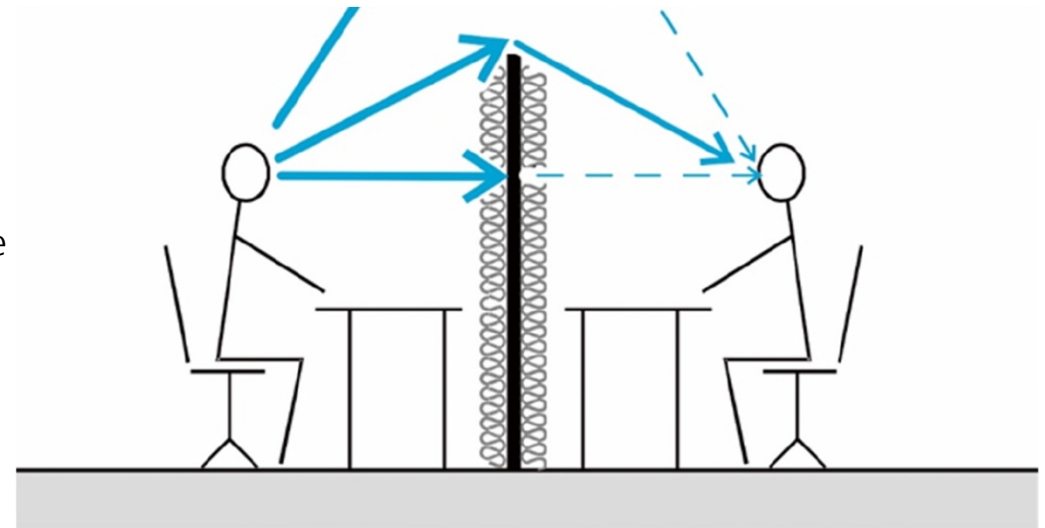


Stellwand oder Tischaufstellwand
mit Schalldämmung und Schallabsorption

Beugung:
Umweg über das
Hindernis entscheidend

Akustische Wirkung von Stellwänden

- Schallreduktion auf dem direkten Übertragungsweg notwendig: Schalldämmung der Stellwand > 10 dB
- Schallabsorption auf der Seite der Schallquelle (beidseitig)
- Problem: Höhe der Stellwand entscheidet über die akustische Wirkung: je höher und breiter, desto geringer die Schallbeugung über oder um die Stellwand!
- Für die Wirkung sind auch die Umgebungsbedingungen entscheidend!



Stellwand oder Tischaufstellwand
mit Schalldämmung und Schallabsorption

Schalldämmende Kabinen

**Reduktion von Maschinengeräuschen
(z.B. in Maschinenhallen)**

Minderung von Sprachgeräuschen (in Großraumbüros)

**Schutz von hohen Geräuschen und Störung: hohe
Sprachverständlichkeit und Vertraulichkeit**

Schalldämmung zwischen ca. 20 und 40 dB

**Schalldämmung bestimmt durch das schwächste
Bauteil (z.B. Türen, Dichtungen, Lüftungsöffnungen,
Verglasung etc.)**

**Sekundär wirksam zur Gliederung und Abschirmung in
Großraumbüros sinnvoll**

**Messung der Sprachschalldruckpegel-Minderung nach
ISO 23351-1 (im IBP großer Hallraum mit knapp 400 m³
vorhanden)**



Web-App reverberate zur Berechnung der Nachhallzeit

Web-App

- Web-Applikation zur intuitiven Berechnung der Nachhallzeit in Räumen auf Grundlage eines neuen, am Fraunhofer IBP entwickelten Berechnungsmodells.
- Flexible Anlegung und Beeinflussung der Raumgeometrie sowie absorbierender Oberflächen im Raum.
- Berücksichtigung der Absorptionsverteilung im Raum sowie weitere Vorteile im Gegensatz zu klassischen raumakustischen Berechnungen nach Sabine.
- Einordnung der raumakustischen Berechnungen in die akustischen Anforderungen nach DIN 18041.
- Export der Ergebnisse samt Zwischenergebnissen wie Abklingkurven als PDF.
- Kostenfrei verfügbar unter www.reverberate.de



Entwicklung von Schallabsorbern, Stellwänden und Akustikbauteilen

Material- und Bauteilentwicklung

- Entwicklung von Schallabsorbern und Akustik-Bauteilen
- Messung und Beurteilung im Materiallabor mit verschiedenen Impedanzrohren, Strömungswiderstand und Porositätsmessung
- Berechnung der Schallabsorption mittels Transfer-Matrix-Methode
- Prognose der Schallabsorption für den Hallraum
- Abnahmemessungen im Hallraum bzgl. Schallabsorption nach ISO 354 und ISO 23351-1
- Voll ausgerüstetes Labor und akkreditierte Prüfstelle für alle Raum- und Bauakustik-Messungen



Bitte sprechen Sie mich an!

Dr. Moritz Späh
Senior Scientist
Digitale und nachhaltige Akustik
Abteilung Akustik
Tel. +49 711-970 3351
Moritz.spaeh@ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.ibp.fraunhofer.de