



Hochschule Mittweida
University of Applied Sciences
Seminar Bau- und Raumakustik
Architectural Acoustics

Jörn Hübelt
joern.huebelt@hs-mittweida.de

Seiten: 22

Aufgabensammlung und Verständnisfragen Bau- und Raumakustik / Architectural Acoustics

Prof. Jörn Hübelt

3. Überarbeitung 24.06.18



Inhalt

1. Freie Schallausbreitung.....	4
Aufgabe 1.1. Schalleistung und Schalldruckpegel.....	4
Aufgabe 1.2. Schalleistung einiger Quellen.....	4
Aufgabe 1.3. Sprachverständlichkeit in größerer Entfernung.....	4
Aufgabe 1.4. Schalleistung im Gespräch	4
Aufgabe 1.5. Schalleistung und Schalldruck?	4
Aufgabe 1.6. Open-Air-Konzert	5
Aufgabe 1.7. Beschallung eines Sportfeldes	5
Aufgabe 1.8. Schalleistung eines Lautsprechers	6
2. Schallausbreitung in Räumen	6
Aufgabe 2.1. Nachhallzeit eines Raumes	6
Aufgabe 2.2. Konzertsaal in halb- und vollbesetztem Zustand.....	6
Aufgabe 2.3. Nachhallzeit	7
Aufgabe 2.4. Schallabsorber im Hallraum.....	7
Aufgabe 2.5. Fürchterliche akustischen Eigenschaften im Fogg Art Museum.....	7
Aufgabe 2.6. Optimale Nachhallzeit nach DIN 18041	8
Aufgabe 2.7. Schalleistung mit Vergleichsverfahren	8
Aufgabe 2.8. Sprecher im Hörsaal	8
Aufgabe 2.9. Hallradius im Nah-oder Fernfeld des Lautsprechers	9
Aufgabe 2.10. Punktquelle vor schallharter Wand	9
Aufgabe 2.11. Punktquelle vor schallharter Wand	9
Aufgabe 2.12. Eigenfrequenzen eines Raumes.....	9
Aufgabe 2.13. Eigenmoden und -frequenzen eines Flachraumes	9
Aufgabe 2.14. Raumakustische Auslegung eines Seminarraumes.....	10
3. Bauakustik.....	11
Aufgabe 3.1. Absorptionsgrad einer Glaswand.....	11
Aufgabe 3.2. Absorptionsgrad einer Wand.....	11
Aufgabe 3.3. Schalldämmung einer Sperrholzwand	11
Aufgabe 3.4. Schalldämmung einer Sperrholzwand	11
Aufgabe 3.5. Zusammenhang Schalldämm-Maß und Standard-Schallpegeldifferenz.....	11
Aufgabe 3.6. Schalldämmung einer Tür	11



Aufgabe 3.7.	Schalldämmung einer zweischaligen Wand.....	12
Aufgabe 3.8.	Schalldämmung einer biegeweichen Vorsatzschale.....	12
Aufgabe 3.9.	Schalldämmung Büro und Betriebshalle.....	12
Aufgabe 3.10.	Koinzidenzfrequenz bei Glasscheiben	13
Aufgabe 3.11.	Wohnungstrenndecke mit schwimmendem Estrich.....	13
Aufgabe 3.12.	Außenwand.....	13
Interferenzen und Musikinstrumente		14
Aufgabe 3.13.	Offene Orgelpfeife	14
Aufgabe 3.14.	Gedackte (gedackte) Orgelpfeife	14
Aufgabe 3.15.	Gedackte oder geschlossene Orgelpfeife	14
Aufgabe 3.16.	Stimmen einer Flöte oder Klarinette	14
Aufgabe 3.17.	Barocktrompete	14
Aufgabe 3.18.	Töne in Helium	14
Aufgabe 3.19.	Stimmgabel und Gitarre - Schwebung	14
4. Verständnisfragen – Bau- und Raumakustik.....		16
Thema 4.1.: Grundlegendes.....		16
Thema 4.2.: Luftschallschutz		16
Thema 4.3.: Trittschallschutz.....		19
Thema 4.4.: Anforderungen Schallschutz		20
Thema 4.5.: Konstruktive Umsetzung.....		20
Thema 4.6.: Raumakustik		21



1. Freie Schallausbreitung

Aufgabe 1.1. Schalleistung und Schalldruckpegel

Für einen auf dem Boden angeordneten Lautsprecher wird ein Schalleistungspegel L_w von 89 dB(A) angegeben. Welcher Schalldruckpegel L_p ist vor den beiden nächstgelegenen Wohnhäusern in 35 m bzw. in 50 m Entfernung zu erwarten (der Boden ist schallhart)?

Aufgabe 1.2. Schalleistung einiger Quellen

Für folgende Schallquellen ist die akustische Leistung gegeben:

menschliche Stimme (normal)	$P = 7 \mu\text{ W}$,
Orchester, 75 Mann	$P = 70 \text{ W}$,
Alarmsirene	$P = 1 \text{ kW}$.

Wie groß sind die zugehörigen Schalleistungspegel und wie hoch sind die Schalldruckpegel in 10m Abstand, wenn kugelsymmetrische Schallabstrahlung angenommen wird?

(Anmerkung: Denken Sie sich dabei das Orchester durch ein räumlich konzentriertes Lautsprechersystem ersetzt.)

Aufgabe 1.3. Sprachverständlichkeit in größerer Entfernung

Ein Sprecher erzeugt Sprache mit $L_p = 70 \text{ dB}$ in 1m Abstand. Wie groß darf der Hintergrundlärm sein, wenn in 20m Entfernung noch gute Sprachverständlichkeit gegeben sein soll? Es wird nahezu reflexionsarme Umgebung angenommen.

(Hinweis: 95% Sprachverständlichkeit ist gegeben, wenn der Sprachpegel mindestens 10 dB über dem Hintergrundpegel liegt.)

Aufgabe 1.4. Schalleistung im Gespräch

Zwei Gesprächspartner unterhalten sich in üblicher Lautstärke, d.h. am Ohr des Zuhörenden steht ein Schalldruckpegel von 64 dB an, wobei der Sprecherabstand 1 m beträgt. Dabei sollen näherungsweise kugelförmige Schallwellen angenommen werden. Fremdschall sei nicht vorhanden. Der Gehörgang des Zuhörenden habe 8mm Durchmesser.

- Welche Schalleistung gibt der Sprecher ab? (Bei mittleren Sprachfrequenzen liegt $r = 1 \text{ m}$ im Fernfeld.)
- Welche Schalleistung gelangt ans Trommelfell des Zuhörers?
- In welchem Abstand vom Sprechern wird das Gesagte für einen Normalhörenden (mittlere Hörschwelle ca. 4,5 dB) unhörbar? (Unverständlich wird es schon bei weit geringerem Abstand, warum wohl?)

Aufgabe 1.5. Schalleistung und Schalldruck?

Der "Schalleistungs-Pegel" ist definiert als:

$$L_w = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0}$$

mit der akustischen Leistung des Schallerzeugers P und der Bezugsleistung $P_0 = 10^{-12} \text{ W}$.

- Nehmen Sie einen Lautsprecher als ideale Kugelschallquelle im freien Raum an. In welchem Abstand r vom Mittelpunkt des Kugelstrahlers sind die Zahlenwerte von L_w und dem Schalldruckpegel L_p gleich?
- Nehmen Sie einen idealen Halbkugelstrahler (z.B. Lautsprecher in unendlich großer Schallwand) an. Welcher Abstand r ergibt sich nun für Gleichheit von L_p und L_w ?



Aufgabe 1.6. Open-Air-Konzert

Die Geräusche eines Open-Air-Konzert wirken in einem Abstand von $r = 1$ km bei ruhiger Luft belästigend ($L_p = 60$ dB).

- Berechnen Sie näherungsweise den Schallleistungspegel und die Schalleistung, die während des Konzertes emittiert (atmosphärische Dämpfung und Bodendämpfung wird vernachlässigt) wird.
- Schätzen sie ab, wie groß die von den Verstärkern abgegebene elektrische Leistung ist (Größenordnung).

Aufgabe 1.7. Beschallung eines Sportfeldes

Bild 1 zeigt den Lageplan eines rechteckförmigen Sportfeldes (Ecken A, B, C, D) der Länge $2a = 160$ m und der Breite $a = 80$ m. In Verlängerung der Strecke CB um $a = 80$ m befindet sich die Fassade eines Hauses (Messpunkt H). Das Sportfeld soll durch mehrere Lautsprecher so beschallt werden, so dass an keinem Punkt des Feldes (in Kopfhöhe der Sportler) der Schallpegel $L_{p,min} = 70$ dB unterschritten wird.

Zwei Varianten stehen zur Wahl:

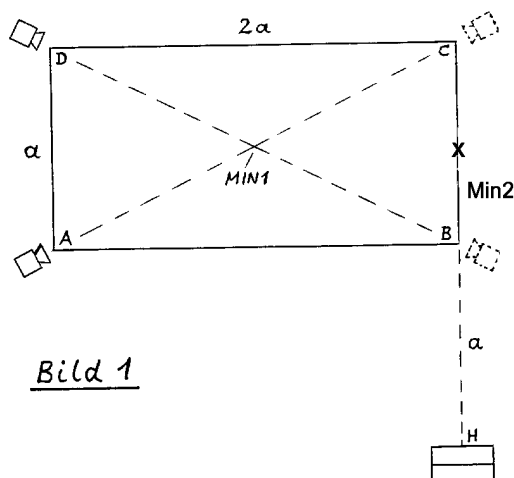
- Vier gleiche Lautsprecher mit gleicher Schalleistungsabgabe (jeweils P_{ak1}) werden in A, B, C und D angebracht.
- Zwei gleiche Lautsprecher (Schalleistung jeweils P_{ak2}) werden in A und D angebracht.

Es soll nun diejenige Variante realisiert werden, welche die Hausbewohner am wenigsten stört, also im Punkt H den geringeren Schallpegel liefert.

Es kann angenommen werden:

- Die Lautsprecher sind ideale Kugelstrahler.
- Die Lautsprecher sind in Kopfhöhe der Sportler aufgestellt.
- Keine Reflexion am Erdboden.
- Windstille, Schallabsorption der Luft vernachlässigbar.

Die Punkte minimaler Schalldruckpegel auf dem Sportfeld sind für Variante 1 und 2 in der Skizze mit **Min1** bzw. **Min2** gekennzeichnet.



- Berechnen Sie, getrennt für beide Varianten, die zur Einhaltung von $L_{p,min} = 70$ dB erforderliche Schalleistung P_{ak1} bzw. P_{ak2} jedes Lautsprechers sowie die zugehörigen Schalleistungspegel. Es soll von einer inkohärenten Überlagerung (Kohärenz beeinflusst



durch Fluktuationen in der Atmosphäre) aller 4 bzw. 2 Lautsprechersignale ausgegangen werden.

- Berechnen Sie, getrennt für beide Varianten, den Schalldruckpegel im Messpunkt H. Geben Sie an, welche Variante (1. oder 2.) Sie zur Realisierung empfehlen.
- Berechnen Sie (nur für die unter b) bevorzugte Variante), welche elektrische Wirkleistung jeder Lautsprecher aus dem Verstärker aufnehmen muss, wenn sein elektroakustischer Wirkungsgrad 3% beträgt.
- Welche akustischen Gründe gibt es dafür, die Lautsprecher in der Praxis nicht in Kopfhöhe, sondern mehrere Meter höher aufzustellen?

Aufgabe 1.8. Schalleistung eines Lautsprechers

Der Schalldruck $\tilde{p}(f)$, der sich an einem Messpunkt ergibt, sei direkt proportional zur Schnelle \tilde{v}_M einer Lautsprechermembran: $\tilde{p}(f) = K \tilde{v}_M(f)$.

- Die Beschleunigung \tilde{a}_M der Membran sei für alle Frequenzen gleich groß, also $\tilde{a}_M(f) = \tilde{a}_M = \text{const.}$
 - Welcher Frequenzgang ergibt sich für den Schalldruckpegel?
 - Wie lässt sich dieser Zusammenhang zweckmäßig grafisch darstellen?
 - Wie groß ist die Pegeländerung je Frequenzdekade, je Oktave, je Terz?

2. Schallausbreitung in Räumen

Aufgabe 2.1. Nachhallzeit eines Raumes

In einem Raum ($V = 3800 \text{ m}^3$) ist die Oberfläche ($S = 1500 \text{ m}^2$) wie folgt zusammengesetzt:

Nr.	S in m^2	Art der Wand	α
1	800	leere Wand	0,02
2	300	Teppich	0,3
3	200	Vorhänge	0,4
4	200	Absorber	0,6

Wie groß sind A , $\bar{\alpha}$, T und r_H ?

Aufgabe 2.2. Konzertsaal in halb- und vollbesetztem Zustand

Ein Konzertsaal habe im vollbesetzten Zustand eine Nachhallzeit von $T_B = 1,8 \text{ s}$; bei halber Publikumsbesetzung beträgt die Nachhallzeit dagegen $T_H = 1,95 \text{ s}$.

Wie hoch ist die Nachhallzeit T_0 des unbesetzten Saales?

Hinweis: Benutzen Sie die SABINESche Formel.



Aufgabe 2.3. Nachhallzeit

Schätzen Sie die Nachhallzeit T_{60} anhand des in Bild 1.1 dargestellten Schalldruckpegel-Zeit-Verlaufes ab!

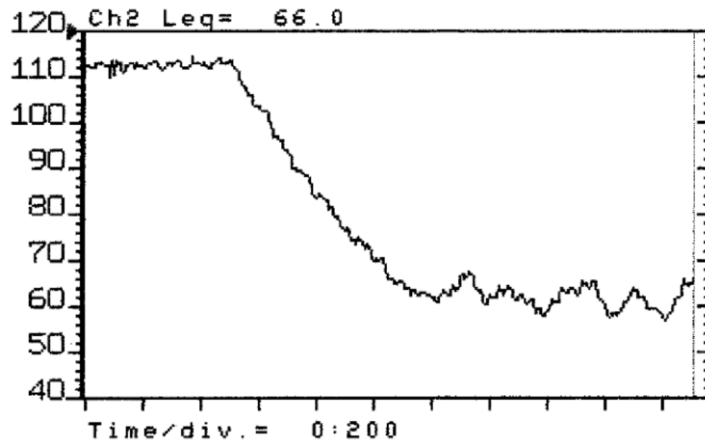


Bild 1.1: Schalldruckpegel-Zeit-Verlauf nach Abschalten einer Schallquelle.

Aufgabe 2.4. Schallabsorber im Hallraum

In einem leeren Hallraum mit einem Volumen von $V = 190 \text{ m}^3$ wurden durch Messung die Nachhallzeiten T_1 in Oktavbändern (Mittelwerte mehrerer Messorte) bestimmt. Anschließend ist in den Hallraum eine 10 m^2 große Probe eines schallabsorbierenden Materials eingebracht worden. Eine neue Nachhallzeit - Messung ergab nun die Werte T_2 .

- Wie groß ist die Absorptionsfläche $A_1 = \bar{\alpha}_1 S_0$ des leeren Hallraumes als Funktion der Frequenz?
- Wie groß ist der Schallabsorptionsgrad α_{pr} der Probe als Funktion der Frequenz?
(Hinweis: Im Hallraum gilt: $\bar{\alpha}_1 \ll \alpha_{pr}$)

Oktavband - Mittenfrequenzen in Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T_1 in s	8,0	7,0	6,5	6,0	6,0	5,5	5,0	4,0
T_2 in s	4,4	3,5	2,9	2,5	2,3	2,2	2,0	2,0

Aufgabe 2.5. Fürchterliche akustischen Eigenschaften im Fogg Art Museum

Im Jahre 1895 wurde WALLACE SABINE gebeten, irgendetwas gegen die fürchterlichen akustischen Eigenschaften des Vorlesungsraumes im gerade fertiggestellten Fogg Art Museum von Harvard zu unternehmen.

- Schätzen Sie aus folgenden Angaben ab, wie schlimm es um die akustischen Eigenschaften tatsächlich bestimmt war (jeweils mit und ohne Publikum):
 - $V = 2740 \text{ m}^3$
 - näherungsweise würfelförmige Gestalt
 - Wände und Decken verputzt ($\alpha_{putz} = 0,033$)



- Fußboden : Holz ($\alpha_{\text{Holz}} = 0,061$)
 - Publikum : ca. 100 Personen, je Person $A = 0,44 \text{ m}^2$.
(Alle Werte gelten für eine Frequenz von ca. 500Hz)
- b) Vergleichen Sie die Werte mit den Anforderungen an moderne Vorlesungsräume nach DIN 18041 „Schallfelder in kleinen und mittelgroßen Räumen“. Die optimale Nachhallzeit für Sprache in kleinen und mittelgroßen Räume wird nach DIN 18041 mit

$$T = \left(0,37 \cdot \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,14 \right) \text{s}$$

berechnet.

- c) SABINE verwendete bei seinen Versuchen Zuhörer zum Nachweis des Schalles. Durch Einbau verschiedener absorbierender Materialien konnte er die Hörbarkeitsdauer $t_{\text{hör}}$ des leeren Raumes auf $t_{\text{hör}} = 0,75\text{s}$ verringern (Hinweis: $t_{\text{hör}} \approx 0,29 T$). Um welchen Faktor musste er dazu die äquivalente Schallabsorptionsfläche erhöhen? Wie groß ist dann die Nachhallzeit des besetzten Hörsaales?
- d) Oberhalb welcher Frequenz kann tatsächlich von der Ausbildung eines Diffusen Schallfeldes ausgegangen werden (Schröder-Frequenz)?

Aufgabe 2.6. Optimale Nachhallzeit nach DIN 18041

Die optimal Nachhallzeit für Sprache in kleinen und mittelgroßen Räume wird nach DIN 18041 mit

$$T = \left(0,37 \cdot \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,14 \right) \text{s}$$

berechnet.

- a) Berechnen Sie hierfür die notwendige optimale Äquivalente Absorptionsfläche bei einer Frequenz von 1000 Hz. Das Volumen des Vortragsraums betrage hierbei $V = (15 \times 9 \times 5) \text{ m}^3$.
- b) Welchen maximalen und minimalen Wert darf die Äquivalente Absorptionsfläche bei 100 Hz aufweisen?
- c) Das von Ihnen vorgesehene Absorbermaterial weise bei 1000 Hz einen Absorptionsgrad von 0,8 auf. Wie viel Quadratmeter Absorber Material müssen Sie bestellen?

Aufgabe 2.7. Schalleistung mit Vergleichsverfahren

In einem Hallraum misst man für eine Normschallquelle mit einer Leistung von 10^{-2} W in genügend großem Abstand (im Diffusfeld) einen konstanten Schalldruckpegel von 72 dB.

Diese Quelle wird durch eine Quelle unbekannter Schalleistung ersetzt. Es wird nun bei gleicher Messanordnung ein Schalldruckpegel von 75 dB ermittelt. Wie hoch ist die Schalleistung dieser Quelle?

Aufgabe 2.8. Sprecher im Hörsaal

In einem Hörsaal wurden Nachhallzeitmessungen durchgeführt, um die raumakustische Qualität des Saales zu beurteilen:

Raumabmessungen:	Länge	12,5 m
	Breite	7,5 m
	Höhe	3,0 m
Nachhallzeit:	im leeren Zustand	1,2 s
	im besetzten Zustand	0,8 s
	Schallgeschwindigkeit:	343 m/s



- Mit welchem Schalleistungspegel müsste ein Vortragender im leeren Raum sprechen, damit sich dort ein Schalldruckpegel von 70 dB einstellt? Dabei wird ein diffuses Schallfeld vorausgesetzt.
- Welcher Schalldruckpegel stellt sich im besetzten Raum ein, wenn der Vortragende die Sprechweise des leeren Raumes beibehält?

Aufgabe 2.9. Hallradius im Nah-oder Fernfeld des Lautsprechers

In der Mitte eines großen Raumes ist eine kleine Kugelschallquelle aufgehängt. In der Nähe der Wände wird jeweils ein von der Frequenz unabhängiger Schalldruckpegel von $L_d = 74$ dB gemessen ($d =$ diffuses Schallfeld). In 1m Abstand vom Quellenmittelpunkt dagegen wird $L_{p,1m} = 87$ dB gemessen.

- Berechnen Sie den Hallradius r_H des Raumes.
- Für welche Frequenzen liegt der Hallradius im Nahfeld, für welche im Fernfeld, wenn sich das Nahfeld bis $r = 2\lambda$ erstreckt? ($c = 340$ m/s).

Aufgabe 2.10.

Leer

Aufgabe 2.11. Punktquelle vor schallharter Wand

Eine Punktschallquelle Q (Schalleistungspegel L_w) befinde sich in der Mitte zwischen zwei vollständig reflektierenden Wänden in der Höhe h über einem vollständig absorbierenden Untergrund. Der Immissionsort E befinde sich in gleicher Höhe h und in einem Abstand $x \ll a$ vor einer der Wände A (Abstand der Wände voneinander: $2a$).

- Berechnen Sie den Schalldruckpegel am Immissionsort E , indem Sie Reflexionen bis zur zweiten Reflexion an der E nächstgelegenen Wand A und bis zur 1. Reflexion an der entfernteren Wand B berücksichtigen.
- Zeichnen Sie dazu die entsprechende Spiegelschallquelle ein.
- Um wie viel dB wird der Schalldruckpegel durch die Reflexionen erhöht?
- Diskutieren Sie speziell $x \rightarrow 0$.

Aufgabe 2.12. Eigenfrequenzen eines Raumes

- Wie viel Eigenfrequenzen sind im Frequenzbereich von 100 Hz bis 5 kHz in einem Raum mit den Abmessungen 8m x 4m x 3,5m zu erwarten?
- Welche Eigenfrequenzen findet man für
 - $n_x = 0, n_y = 0, n_z = 1$;
 - $n_x = 1, n_y = 0, n_z = 0$;
 - $n_x = 0, n_y = 1, n_z = 0$;
 - $n_x = 1, n_y = 2, n_z = 3$.

Aufgabe 2.13. Eigenmoden und -frequenzen eines Flachraumes

Für die raumakustische Projektierung eines rechteckigen Flachraumes mit starren Wänden werden die Eigenmoden in Flächenmitte untersucht. Die Grundfläche des Raumes wurde mit 10 m x 50 m angegeben.

- Berechnen Sie für die Eigenmode $n_x = 1, n_y = 1, n_z = 0$ die Amplitude der Mode $\varphi_I(x, y, z)$ in Flächenmitte. Welchen Wert nehmen dabei ω_I bzw. f_I an?



- b) Der Raum habe eine Höhe von 5 m. Mit welcher Anzahl von Eigenfrequenzen ist im Frequenzbereich bis 2 kHz zu rechnen?

Hinweis: $\varphi_n = \cos \frac{n_x \pi x}{l_x} \cos \frac{n_y \pi y}{l_y} \cos \frac{n_z \pi z}{l_z}$

Aufgabe 2.14. Raumakustische Auslegung eines Seminarraumes

Prüfen Sie, ob die Anforderungen nach DIN 18041 eingehalten werden. Füllen Sie dazu die Tabelle aus [Willems 2013].

	Beschreibung
Seminarraum	Quaderförmiger Raum (Breite b = 5,0 m, Länge l = 8,0 m, Höhe h = 3,2 m) Volumen V = 128 m ³ Nutzung Unterricht gemäß DIN 18041:2004 [115] Soll-Nachhallzeit T _{soll} = 0,50 s

	Schallabsorptionsgrade					
	125	250	500	1 k	2 k	4 k
Parkett auf Beton	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Gipskartonwand	0,35	0,12	0,08	0,07	0,06	0,07
Glatter Beton	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Rasterdecke, Glasfaser, l _w = 200 mm	0,15	0,50	0,90	1,00	0,95	1,00
Fenster	0,28	0,20	0,11	0,06	0,03	0,02
Tür, Holz lackiert	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05

	Äquivalente Schallabsorptionsflächen in m ²					
	125	250	500	1 k	2 k	4 k
Parkett auf Beton, 40 m ²						
Gipskartonwand, 42 m ²						
Glatter Beton, 22 m ²						
Rasterdecke, 200 mm Abhängenhöhe, 35 m ²						
Fenster, 25 m ²						
Tür, Holz lackiert, 5 m ²						

	Sonstige äquivalente Schallabsorptionsflächen in m ²					
	125	250	500	1 k	2 k	4 k
Stühle, 30 Stück						
Schränke, 8 Stück, 5 OH, 1,2 m						

	Äquivalente Schallabsorptionsfläche in m ²					
	125	250	500	1 k	2 k	4 k
Luftabsorption (20 °C, φ = 50%)						

	Nachhallzeiten in s					
	125	250	500	1 k	2 k	4 k
Toleranz oben						
Toleranz unten						
Nachhallzeit nach Sabine						



3. Bauakustik

Aufgabe 3.1. Absorptionsgrad einer Glaswand

Eine 12 mm dicke Glasscheibe hat bei $f = 100$ Hz ein Schalldämm-Maß R von 27 dB. Die Dämpfung von Schall im Glas ist hier kleiner als 1 dB, also vernachlässigbar. Man berechne den Schallabsorptionsgrad α .

Aufgabe 3.2. Absorptionsgrad einer Wand

Berechnen Sie den Absorptionsgrad für eine Schallwelle, die auf eine Wandimpedanz $Z_w = (3 + j4) \rho_0 c_0$ auftrifft!

Aufgabe 3.3. Schalldämmung einer Sperrholzwand

leer

Aufgabe 3.4. Schalldämmung einer Sperrholzwand

Die akustische Impedanz einer Wand lässt sich in einem bestimmten Frequenzbereich angeben durch

$$Z_W = Z_1 + j\omega m''$$

(Z_1 ... charakteristische Impedanz von Medium 1; m'' .flächenbezogene Masse der Wand / mitschwingende Masse ; $\omega = 2\pi f$).

Berechnen Sie den Reflexionsfaktor sowie den Absorptionsgrad einer Sperrholzwand ($m'' = 4 \text{ kg/m}^2$) in Luft ($Z_1 = Z_{0,L} = 408 \text{ Ns/m}^3$) bei $\omega = 425 \text{ s}^{-1}$ für senkrechten Schalleinfall.

Aufgabe 3.5. Zusammenhang Schalldämm-Maß und Standard-Schallpegeldifferenz

Zeigen Sie, dass folgender Zusammenhang gilt:

$$D_{n,T} = R + 10 \lg \left(\frac{V}{S \cdot 1\text{m}} \right) \text{dB} - 5\text{dB}$$

Aufgabe 3.6. Schalldämmung einer Tür

Berechnen Sie den Schalldruckpegel L_2 in einem Büroraum bei 1000 Hz ($l_1 = 4.5\text{m}$, $b_1 = 3\text{m}$, $h_1 = 2.4\text{m}$), der von einem Vorraum ($l_2 = 2.5\text{m}$, $b_2 = 3\text{m}$, $h_2 = 2.4\text{m}$) mit dem Schalldruckpegel $L_1 = 65$ dB bei 1000 Hz durch eine Tür ($h_T = 2\text{m}$, $b_T = 1\text{m}$) mit dem Schalldämm-Maß $R = 30$ dB bei 1000 Hz abgetrennt ist. Der Schall soll nur durch die Tür (Schalldämm-Maß der Trennwand ist um ein Vielfaches höher) dringen können. Beide Räume haben einen Teppichboden - Belag mit $\alpha_1 = 0,4$ und an Decken und Wänden einen Verputz mit $\alpha_2 = 0,05$.

Gehen Sie von der Gleichung

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg (S/A) \text{ dB}$$

für diffuse Schallfelder in beiden Räumen aus (S : Trennfläche, durch die Schall übertragen wird; A : äquivalente Schallabsorptionsfläche des Empfangsraumes).



Aufgabe 3.7. Schalldämmung einer zweischaligen Wand

Berechnen Sie für eine Doppelwand aus zwei je 1 cm dicken Holzspanplatten mit $m'' = 7 \text{ kg/m}^2$, Abstand der Schalen 5 cm, die Resonanzfrequenz (freistehende Ständerwand mit Auskleidung durch Mineralwolle $\Xi > 5 \text{ kNs/m}^4$).

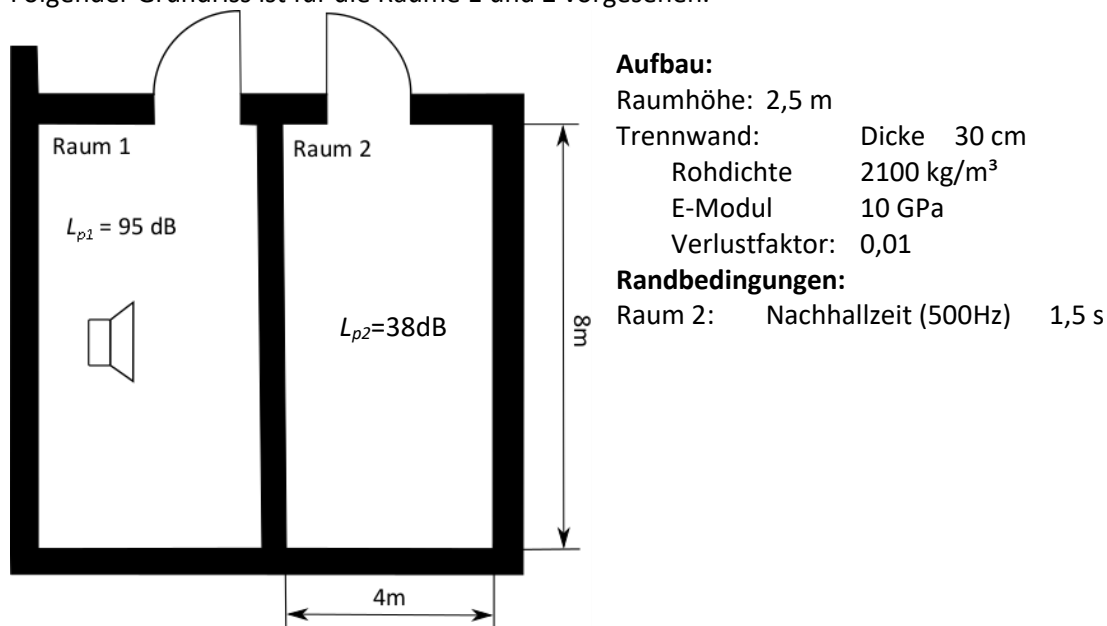
Aufgabe 3.8. Wandabstand und Luftschallverbesserungsmaß einer biegeweichen Vorsatzschale

Eine 12,5 mm dicke Gipskartonplatte mit einer Dichte von $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ soll vor einer Bestandswand ($R_w = 48 \text{ dB}$) befestigt werden.

- Wie groß muss der Abstand sein, damit die Eigenfrequenz unter 100 Hz liegt (frei stehende Ständerwand mit Auskleidung durch Mineralwolle $\Xi > 5 \text{ kNs/m}^4$)?
- Welches Luftschallverbesserungsmaß ΔR_w ergibt?

Aufgabe 3.9. Schalldämmung zwischen zwei Räumen

Folgender Grundriss ist für die Räume 1 und 2 vorgesehen.



Fragen:

- Ist die Trennwand zwischen Raum 1 und Raum 2 bauakustisch ausreichend biegeweich oder ausreichend biegesteif? Begründung!
- In den Räumen wurden im diffusen Schallfeld die in der Skizze angegebenen mittleren Terzschalldruckpegel bei einer Terzmittenfrequenz von $f = 500 \text{ Hz}$ gemessen. Wie groß ist damit das durch Messung bestimmte Schalldämm-Maß in der Terz bei 500 Hz.
- Berechnen Sie das bewertete Schalldämm-Maß (ohne Flankenübertragung) der einschaligen Trennwand?
- Welches bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w ist (mit Berücksichtigung der Flankenübertragung mit $R_{w,F} = 72 \text{ dB}$) zu erwarten. Schätzen Sie ab!
- Nennen Sie Ursachen, die eine Abweichung zwischen Messung und Berechnung nach c.) hervorrufen können.



Aufgabe 3.10. Koinzidenzfrequenz bei Glasscheiben

Bei der Verdoppelung der Dicke einer Glasplatte wird bei 2000 Hz eine Verschlechterung ihrer Schalldämmung gegenüber der ursprünglichen Platte festgestellt. Welche Dicke hat die Glasscheibe?

Aufgabe 3.11. Wohnungstrenndecke mit schwimmendem Estrich

Eine Massivdecke aus Stahlbeton ($\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$, $d = 0.2 \text{ m}$) wurde mit einer Trittschalldämmplatte mit einer dynamischen Steifigkeit von $s' = 15 \text{ MN/m}^3$ und einem schwimmenden Estrich ($\rho = 2350 \text{ kg/m}^3$, $d = 0.04 \text{ m}$) versehen.

- Welche Eigenfrequenz ergibt sich?
- Wie groß ist die bewertete Luftschallverbesserung ΔR_w ?
- Wie groß ist das bewertete Luftschalldämm-Maß R_w , wenn die Schallausbreitung maßgeblich über das trennende Bauteil auf dem Weg Dd erfolgt?

Aufgabe 3.12. Außenwand

Welche Dichte muss eine 175 mm dicke Außenwand eines Wohngebäudes bei einem maßgeblichen Außenlärmpegel von $L_A = 65 \text{ dB}$ aufweisen? Welches Material kommt z.B. in Frage?

Hinweise:

- Raumart: Aufenthaltsraum in einer Wohnung
- Beachten Sie den Sicherheitsbeiwert!
- Abschätzung Schalldämm-Maß für monolithische Bauteile nach DIN 4109.



Interferenzen und Musikinstrumente

Aufgabe 3.13. Offene Orgelpfeife

Wie lang ist eine offene Orgelpfeife für $f = 20$ Hz?

Aufgabe 3.14. Gedeckte (gedackte) Orgelpfeife

Welche im Hörbereich des menschlichen Ohres liegenden Frequenzen kann eine gedeckte Pfeife von 5 cm Länge hervorbringen?

Aufgabe 3.15. Gedackte oder geschlossene Orgelpfeife

Drei aufeinanderfolgende Resonanzfrequenzen in einer Orgelpfeife seien 1310 Hz, 1834 Hz und 2358 Hz.

- Ist die Pfeife offen oder geschlossen (gedackt) ?
- Wie hoch ist ihre Grundfrequenz?
- Wie lang ist die Pfeife?

Aufgabe 3.16. Stimmen einer Flöte oder Klarinette

Wenn man eine Flöte oder Klarinette bei 20°C (im Zimmer) stimmt, stimmt sie dann auch noch bei 0°C, z.B. im Freien (Begründung)?

Aufgabe 3.17. Barocktrompete

Eine Barocktrompete besteht aus einem schneckenförmig gewickelten zylindrischen Rohr ohne Klappen oder Ventile von ca. acht Fuß Länge l (ca. 2,4m).

- Welche Naturtöne (=Harmonische) kann ein Trompeter damit im Frequenzbereich unterhalb des Kammertones a' (440 Hz) erzeugen?
Hinweis: Die Luftschwingungen werden am Mundstück durch Schwingungen der Lippen (bedingt durch den Luftdruck im Mund-/ Rachenraum beim Blasen) angeregt. Gehen Sie davon aus, dass am Mundstück die Schallschnelle maximal werden kann. ($c_0 = 340$ m/s)
- Für eine genauere Berechnung der Naturtöne muss man die Länge des Rohres durch eine effektive Länge l_{eff} ersetzen. Das entspricht einer Berücksichtigung der "Mündungskorrektur" $\Delta l = l_{eff} - l$, die durch den Rohrdurchmesser sowie die Form der Öffnung (Öffnungstrichter) bestimmt wird. Mit einer oben beschriebenen Trompete lassen sich u.a. die Töne C (65 Hz), c (131 Hz), g (196 Hz) und c' (262 Hz) spielen. Schätzen Sie daraus die Mündungskorrektur ab.

Aufgabe 3.18. Töne in Helium

Bläst man eine gewöhnliche Pfeife an, erhält man einen Grundton der Frequenz f_1 . Verbindet man die Pfeife nun mit einer Heliumflasche und lässt Helium gleicher Temperatur einströmen, so tritt ein Ton der Frequenz f_2 auf.

Schätzen Sie das Verhältnis f_2/f_1 ab!

Aufgabe 3.19. Stimmgabel und Gitarre - Schwebung

Die Überlagerung zweier Wellen mit fast gleichen Frequenzen ist die Ursache für eine Erscheinung, die unter dem Namen "Schwebung" bekannt ist. Die Frequenz dieser periodischen Erscheinung heißt Schwebungsfrequenz.

Gegeben seien zwei Wellen, die an einem festen Ort harmonische Schwingungen der Form

$$p_1 = p_0 \cos(\omega_1 t) = p_0 \cos(2\pi f_1 t)$$



$$p_2 = p_0 \cos(\omega_2 t) = p_0 \cos(2\pi f_2 t)$$

erzeugen.

a) Bestimmen Sie die Frequenz des resultierenden Tones und der Schwebung.
Wird eine 440 Hz - Stimmgabel gleichzeitig mit dem Ton a auf einer Gitarre angeschlagen, so seien 3 Schwebungen pro Sekunde zu hören. Spannt man die Gitarrensaite etwas fester, so erhöht sich die Schwebungsfrequenz auf 6 Schwebungen pro Sekunde. Bestimmen Sie die nun eingestellte Frequenz der Gitarrensaite.



4. Verständnisfragen – Bau- und Raumakustik

Thema 4.1.: Grundlegendes

1. Erläutern Sie die Begriffe Körperschall und Trittschall.
2. Von welcher Größe ist die Schallgeschwindigkeit in einem Fluid maßgeblich abhängig?
3. Wie ist die Nachhallzeit definiert und wie kann sie näherungsweise berechnet werden?
4. Erläutern Sie den Begriff der Stehenden Welle.
5. Erläutern Sie den Begriff Diffuses Schallfeld.
6. Oberhalb welcher Frequenz darf von ausreichender „Diffusität“ des Schallfeldes ausgegangen und die Nachhallzeit bestimmt werden? Welcher Zusammenhang liegt dieser Bedingung zugrunde?
7. Zeichnen Sie ein Diagramm, in dem der Zusammenhang zwischen Schalldruckpegel in Abhängigkeit vom Abstand eines als Kugelquelle angenommenen Lautsprechers in einem Raum dargestellt wird. Stellen Sie dabei den Abstand logarithmisch dar und zeichnen Sie alle wichtigen Kenngrößen in das Diagramm ein. Aus welchen Schallfeldern setzt sich das Raumschallfeld zusammen?
8. Wie ist der Hallradius definiert und wie kann er annäherungsweise berechnet werden?
9. Welcher Zusammenhang gilt zwischen Schallleistungs- und Schalldruckpegel im Diffusen Schallfeld?
10. Welche Schallabsorber kennen Sie?
11. Erläutern Sie die Wirkungsweise eines Porösen Schallabsorbers.
12. In welchem Abstand von der Wand ist ein Poröser Schallabsorber am wirkungsvollsten?
13. Erläutern Sie den Aufbau eines Plattenschwingers.
14. Erläutern Sie den Aufbau eines Helmholzresonators.
15. Welche Absorber werden für hohe, welche für mittlere und welche werden für tiefe Schallsignale verwendet?
16. Wie ist der Schallabsorptionsgrad definiert?
17. Wie berechnet man die äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Raumes?

Thema 4.2.: Luftschallschutz

1. Nennen Sie Quellen für Luftschall.

2. Welche Schallübertragungswege von Luftschall in Gebäuden gibt es?
3. Wie wird das Bau-Schalldämm-Maß R' und wie das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w bestimmt?
4. Was ist unter dem Begriff Spektrumanpassungswert zu verstehen?
5. Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Flächengewicht eines einschaligen Bauteils und der Luftschalldämmung?
6. Wie verhält sich die Luftschalldämmung im Bereich der Koinzidenzgrenzfrequenz?
7. Erläutern Sie die Begriffe biegesteif und biegeweich anhand des Diagrammes Schalldämm-Maß als Funktion der Frequenz.
8. Wie lässt sich die Luftschalldämmung einschaliger Bauteile nachträglich verbessern?
9. Was versteht man unter einem zweischaligen Bauteil und welche drei Arten von zweischaligen Bauteilen gibt es?
10. Wie groß darf die Resonanzfrequenz von zweischaligen Bauteilen höchstens sein?
11. Wie lässt sich die Eigenfrequenz von zweischaligen Bauteilen berechnen?
12. Das gemessene Schalldämm-Maß einer Trennwand hat den frequenzabhängigen Verlauf gemäß Bild 1. Wie groß ist das bewertete Schalldämm-Maß der Konstruktion?
a) 50dB b) 52 dB c) 54 dB

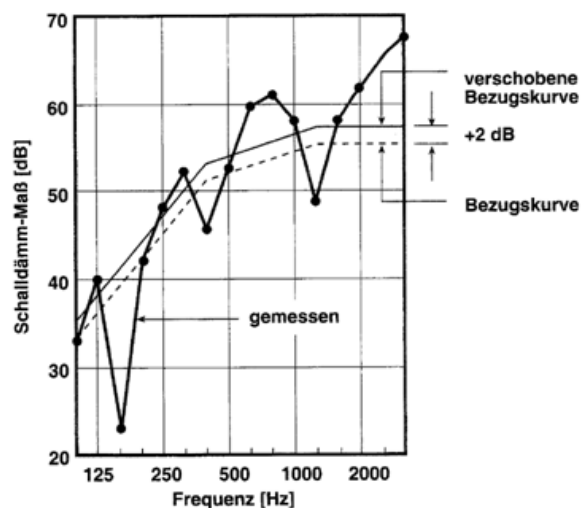
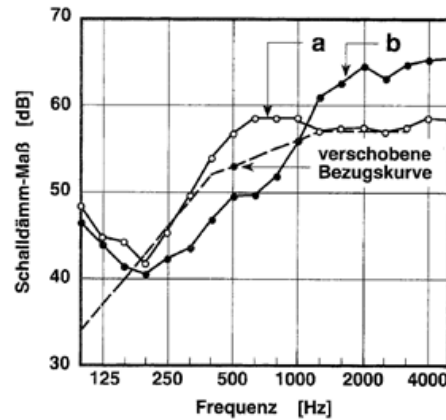


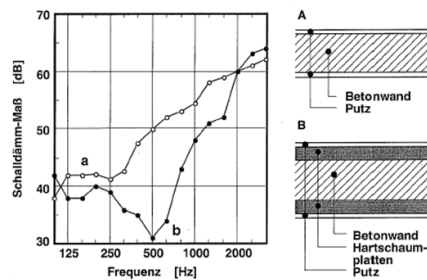
Bild 1: Gemessenes Schalldämm-Maß einer Wand und die Bezugskurve bzw. verschobene Bezugskurve in Abhängigkeit von der Frequenz.

13. Das bewertete Schalldämm-Maß einer Wohnungstrennwand beträgt $R'_w = 53$ dB. Welche Messkurve für das Schalldämm-Maß a oder b nach Bild 2 gehört zu diesem Wert?



Gemessene Schalldämm-Maße zweier Trennwände a und b in Abhängigkeit von der Frequenz. Die gestrichelt eingezeichnete Kurve stellt die verschobene Bezugskurve nach DIN EN 717 dar.

14. Welcher der im Bild wiedergegebenen Schalldämm-Maß-Verläufe a und b stellt sich jeweils bei den unten skizzierten Außenwandkonstruktionen A und B ein? Ordnen sie den entsprechenden Konstruktionen die richtige Dämmkurve zu!



Schalldämm-Maß von zwei Außenwandkonstruktionen A und B in Abhängigkeit von der Frequenz (links) und schematisch dargestellter Aufbau der Außenwandkonstruktion A und B (rechts).

15. Gegeben sind folgende Baustoffschichten gleicher Rohdichte:

A: $d = 10$ cm; $E = 30 \cdot 10^9$ N/m²; $f_c = 175$ Hz

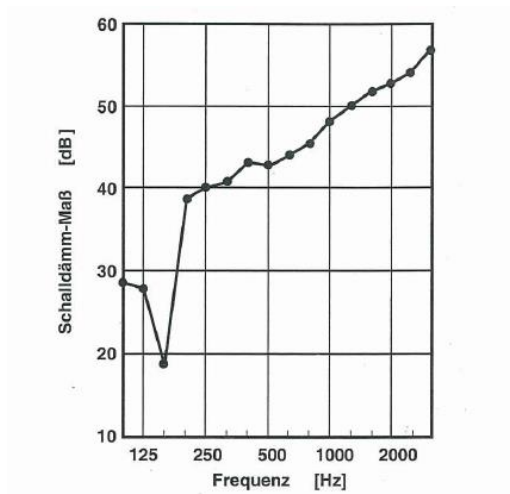
B: $d = 20$ cm; $E = 30 \cdot 10^9$ N/m²;

Was ist richtig?

- B ist biegesteif
- A ist biegeweich.



16. Von welchen Größen hängt die Koinzidenzgrenzfrequenz eines einschaligen homogenen Bauteils ab?
- Schallabsorptionsgrad der Bauteiloberfläche
 - Rohdichte des Baumaterials
 - Dicke des Bauteils
 - Biegesteifigkeit des Bauteils
17. Das Luftschalldämm-Maß eines einschaligen homogenen Bauteils weist in Abhängigkeit von der Frequenz den hier dargestellten Verlauf auf. Wie groß ist die Koinzidenzfrequenz des Bauteils?



Schalldämm-Maß eines einschaligen homogenen Bauteils in Abhängigkeit von der Frequenz.

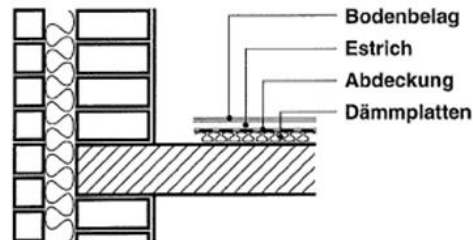
18. NN

19. NN?

Thema 4.3.: Trittschallschutz

- Was versteht man unter Trittschalldämmung?
- Erläutern sie den Begriff Norm-Trittschallpegel L_n
- Was versteht man unter dem bewerteten Norm -Trittschallpegel $L_{n,w}$?
- Erläutern Sie den Aufbau eines Schwimmenden Estrichs.
- Welche Trittschallverbesserungsmaße lassen sich mit weichfedernden Fußbodenbelägen erzielen?
- Erläutern Sie das Trittschallverhalten von den üblichen Massivdecken.

7. Vervollständigen Sie den Eckbereich des unten dargestellten Decken-Wandanschlusses unter Berücksichtigung des baulichen Schallschutzes!



Schematische Darstellung eines Decken-Wandanschlusses mit schalltechnisch unvollständigem Eckbereich.

8. Welche Eigenschaft soll eine Dämmschicht unter dem schwimmenden Estrich haben, damit eine hohe Trittschalldämmung erzielt werden kann?
Eine(n)
- hohe dynamische Steifigkeit $> 30 \text{ MN/m}^3$
 - niedrige dynamische Steifigkeit $< 30 \text{ MN/m}^3$
 - niedrige Wärmeleitfähigkeit
 - hohe Wärmeleitfähigkeit
 - hohen Schallabsorptionsgrad

Thema 4.4.: Anforderungen Schallschutz

- Welche DIN-Normen sind für den Schallschutz maßgebend?
- Was beinhaltet die DIN 4109 Schallschutz im Hochbau?

Thema 4.5.: Konstruktive Umsetzung

- Durch welche Deckenauflagen kann eine ausreichende Trittschallminderung erreicht werden?
- Wie kann eine Trittschalldämmung bei Holzbalkendecke ausgeführt werden?
- Was versteht man unter Schallbrücken?
- Welche Verbindungen können bei einer zweischaligen Wand als Schallbrücken wirken?
- Wie sollte die Hohlraumdämpfung einer zweischaligen Wand ausgeführt werden?
- Was ist bei der Wandkonstruktion mit zwei schweren biegesteifen Schalen zu beachten?
- Wie darf eine Wandkonstruktion mit biegeweicher Vorsatzschale nicht ausgeführt werden?
- Wie lässt sich durch Glasdicke die Schalldämmung eines Doppelfensters günstig beeinflussen?
- Welchen Einfluss hat der Scheibenabstand des Fensters auf das Schalldämm-Maß?



10. Welches Schalldämm-Maß haben Türen?
11. Nennen Sie Schallschutzmaßnahmen an Türen?
12. Wie kann die Trittschalldämmung von Holzbalkendecken verbessert werden, wenn die Balken sichtbar bleiben sollen?

Thema 4.6.: Raumakustik

1. Nennen Sie eine subjektive Empfindungsgröße und einen zugehörigen objektiven Parameter für Sprachdarbietungen.

Antwort: z.B.:

- a. Deutlichkeit C_{50}

$$C_{50} = 10 \log \left(\frac{W_{0...50ms}}{W_{50ms... \infty}} \right) \text{dB}$$

($C_{50} > 0$ dB → Silbenverständlichkeit größer 70%)

- b. Verständlichkeit STI (Bestimmung auf Basis SNR) oder $RASTI$ ($RASTI > 50\%$ → Silbenverständlichkeit größer 70%)

- c. Schwerpunktzeit TS

$$TS = \frac{1}{W_s} \int_0^{\infty} t \cdot W(t) dt$$

optimale Werte kleiner 80ms

2. Nennen Sie eine subjektive Empfindungsgröße und einen zugehörigen objektiven Parameter für Musikdarbietungen.

Antwort: z.B.:

- a. Klarheit / Durchsichtigkeit, C_{80}

$$C_{80} = 10 \log \left(\frac{W_{0...80ms}}{W_{80ms... \infty}} \right) \text{dB}$$

optimale Werte -1... 3 dB

- b. Halligkeit, T_{60}

- c. Hallmaß H ($H = -C_{50}$);

optimale Werte -3... 8 dB

- d. Stärkemaß (Lautstärke) G

$$G = 10 \log \left(\frac{W_{ges}}{W_{ges,10m}} \right) \text{dB}$$

$W_{ges,10m}$ = Bezugsschallleistung im Abstand 10m von der Quelle bei freier Schallausbreitung, optimale Werte -0... 10 dB

- e. Störschall L_{st}

- f. Echofreiheit, Echokriterium

3. Wie sind die unterschiedlichen Nachhallzeit-Werte definiert.

Antwort:

- a. T_{60} (-60 dB),

- b. T_{30} (-5 dB - -35 dB),

- c. T_{20} (-5 dB - -25dB)]?



4. Wird in der raumakustischen Computersimulation der Wellencharakter des Schalles berücksichtigt?

Antwort:

- nein

5. Nennen Sie zwei Verfahren zur raumakustischen Computersimulation.

Antwort:

- a. Strahlverfolgungs- und
- b. Spiegelquellenmethode

6. Aus welchen Grundelementen besteht ein virtuelles Raummodell für die Computersimulation.

Antwort:

- Punkte,
- Kanten,
- Flächen.