

Berufsgenossenschaft Holz und Metall

Fachveranstaltung Lärminderung

Geräuschminderung durch Kapselung

Fortbildungsveranstaltung in Schierke am 01.09.2025

Andreas Bauer

MÜLLER-BBM

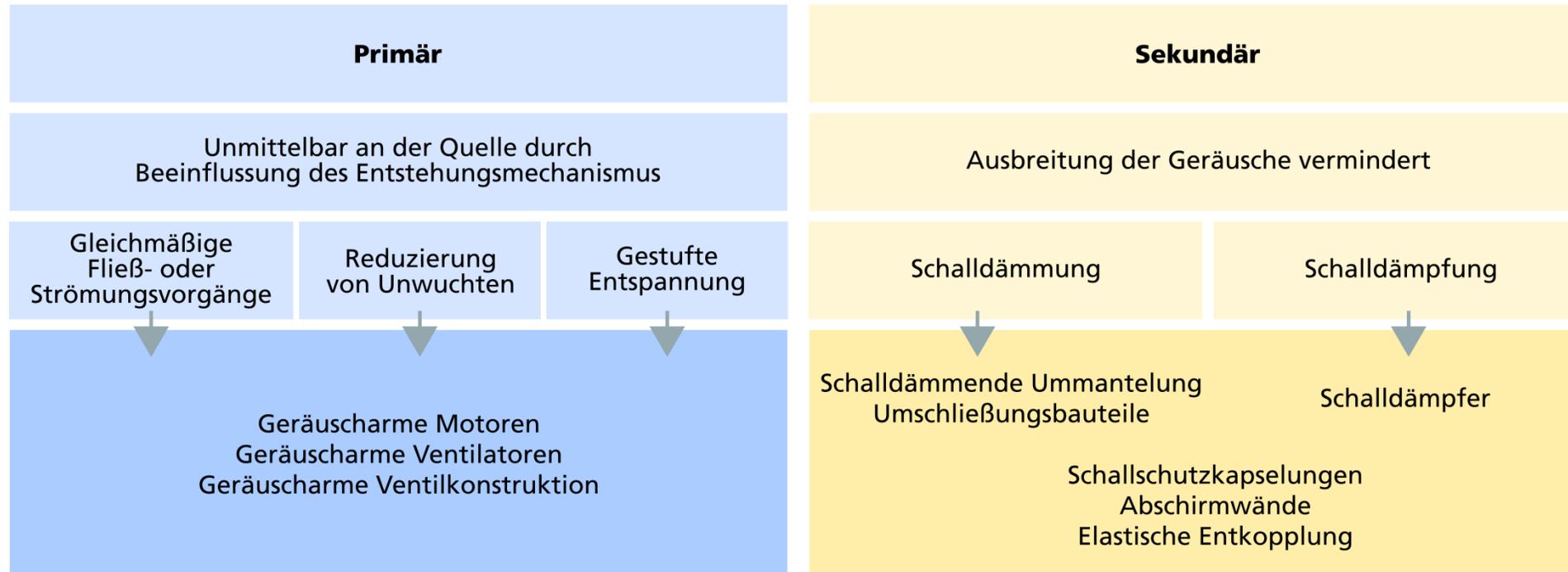
AGENDA

1. Allgemeines zu Geräuschminderungsmaßnahmen
2. Verwendete Literatur
3. Grundlagen/akustische Kenngrößen einer Schallschutzkapsel
4. Schallschutzkapselungen
 - Allgemeines
 - Aufbau
 - Einflussfaktoren für die Wirksamkeit einer Kapselung
 - Allgemeine Planungshinweise
5. Kapselauslegung nach VDI 2711
6. Vorführung

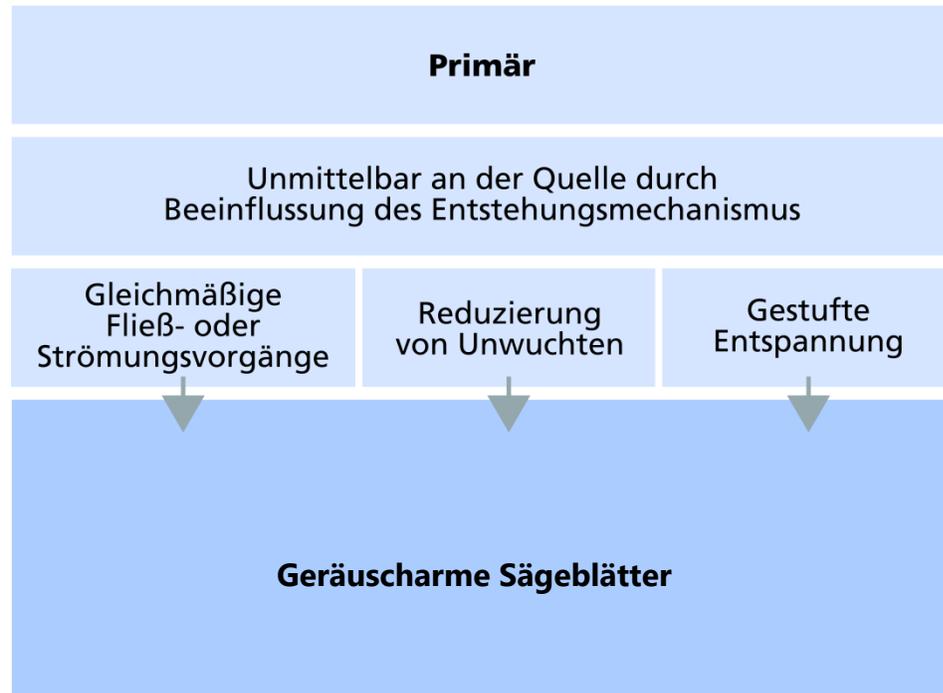
GERÄUSCHMINDERUNGSMÄßNAHMEN

MÜLLER-BBM

GERÄUSCHMINDERUNGSMABNAHMEN



PRIMÄRE GERÄUSCHMINDERUNGSMÄßNAHMEN



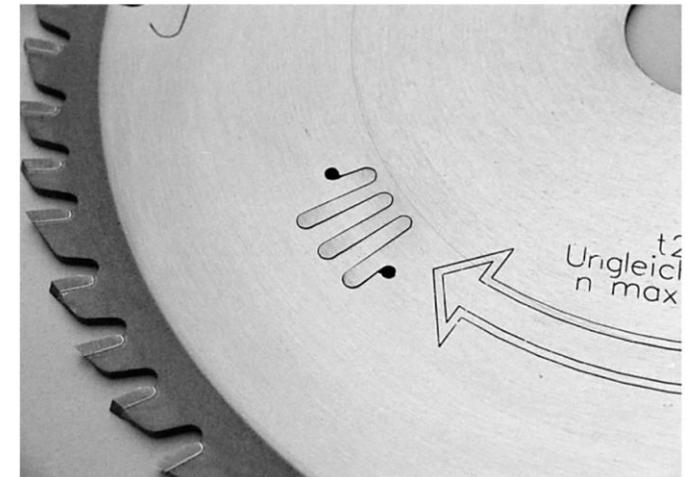
GERÄUSCHARME SÄGEBLÄTTER



Konventionelles Sägeblatt



Sandwich-Sägeblatt



Laser-Sägeblatt

Quellen:

IFA, Institut der DGUV - Geräuschgeminderte Sägeblätter für Holz, Kunststoff und Aluminium - Marktübersicht, Schalldruckpegel in Labor und Praxis, Nr. 230 246, 02/2012
DGUV - Geräuschgeminderte Diamant-Trennscheiben für Steinsägen, Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 02-375, Dezember 2015
Adobe Stock #29655386

GERÄUSCHARME SÄGEBLÄTTER

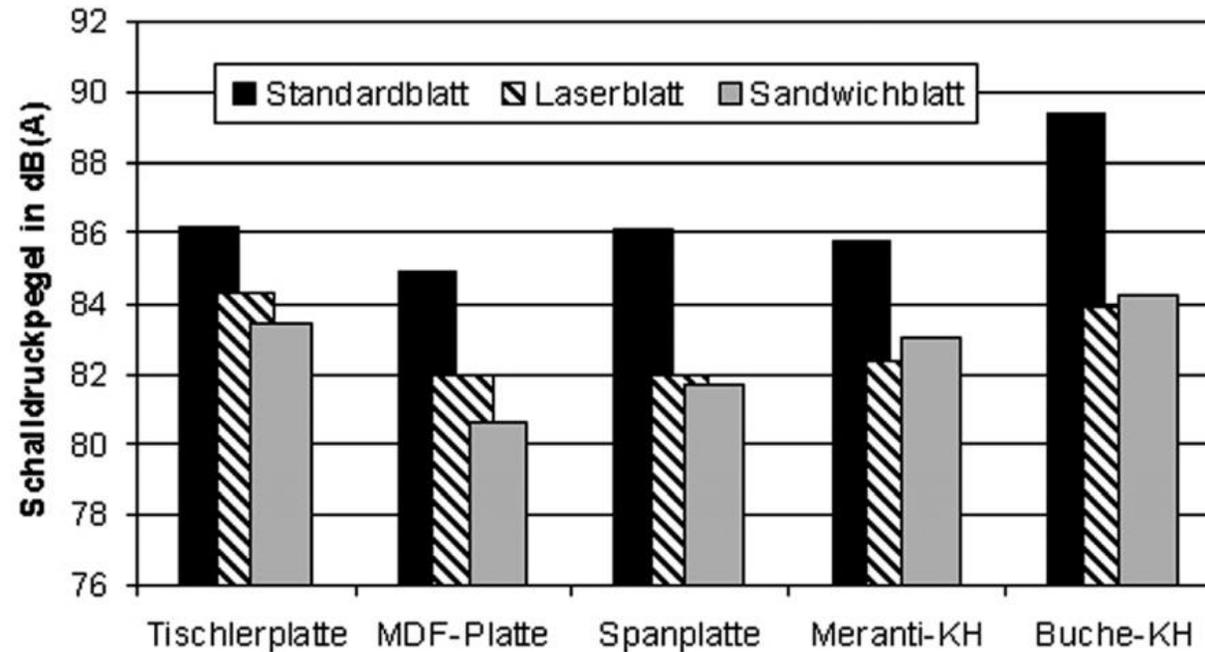
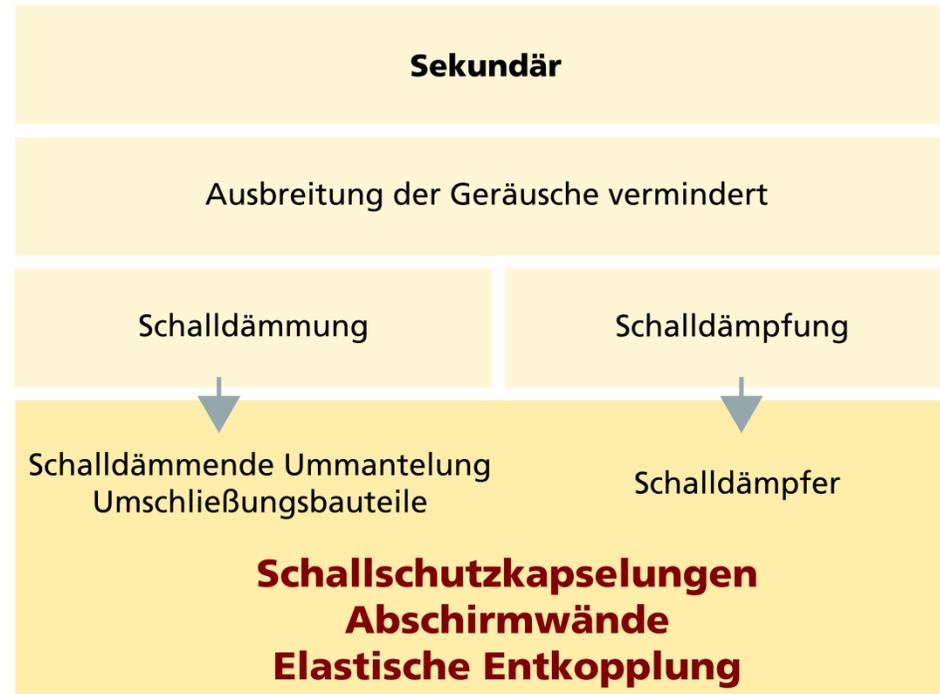


Bild 8:
Vergleich der mittleren Schalldruckpegel beim Sägen von Holz

Quelle:

IFA, Institut der DGUV - Geräuschgeminderte Sägeblätter für Holz, Kunststoff und Aluminium - Marktübersicht, Schalldruckpegel in Labor und Praxis, Nr. 230 246, 02/2012

SEKUNDÄRE GERÄUSCHMINDERUNGSMABNAHMEN



LITERATUR



MÜLLER-BBM

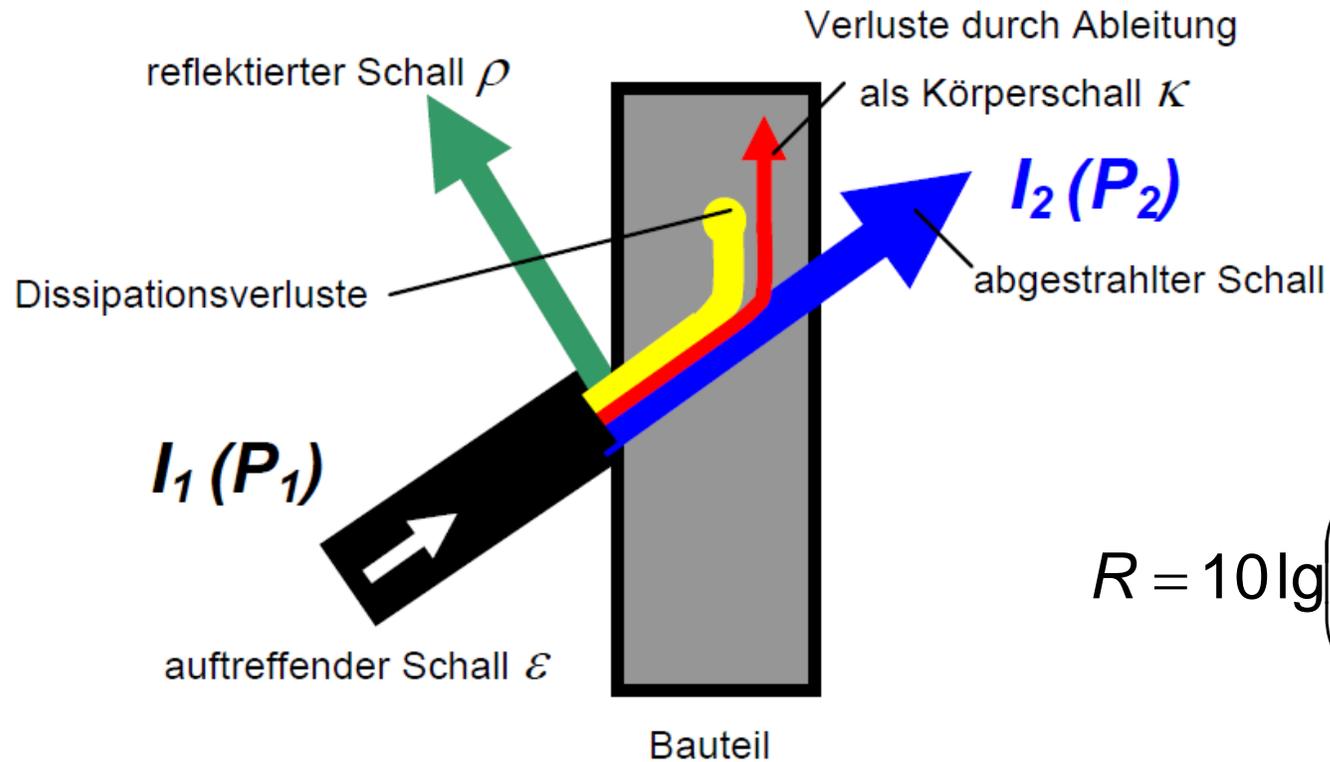
LITERATUR

- (1) DIN EN ISO 15667:
Akustik - Leitfaden für den Schallschutz durch Kapseln und Kabinen
2001-07
- (2) VDI 2711: Schallschutz durch Kapselung. 1978-06 (zurückgezogen)
- (3) Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung DGUV:
Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-243. Geräuschminderung durch
Kapselung. Hinweise zur Gestaltung von Kapseln einfacher Bauart.

GRUNDLAGEN

MÜLLER-BBM

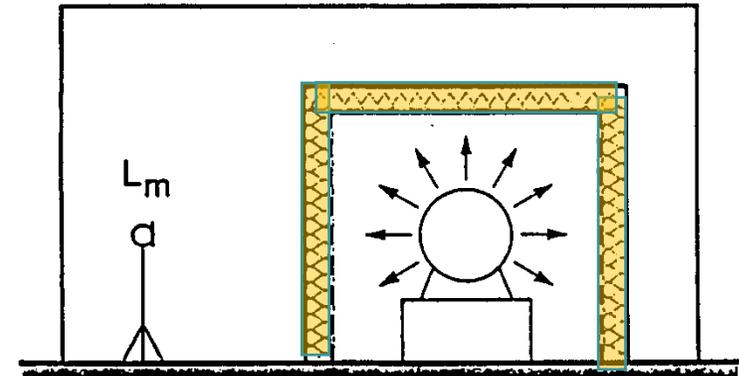
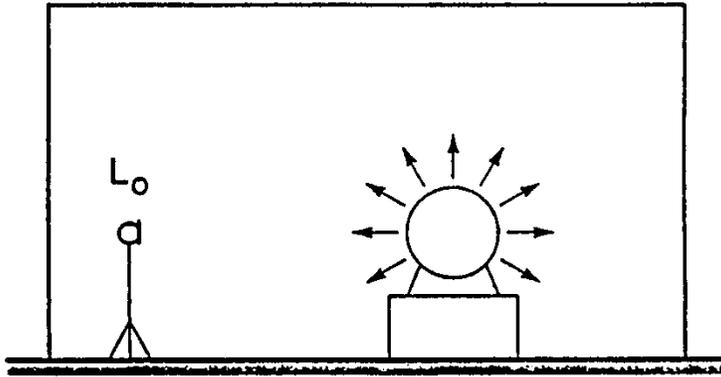
SCHALLDÄMMUNG



$$R = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = L_{W1} - L_{W2} = 10 \lg \left(\frac{1}{\tau} \right) \text{ dB}$$

Effekte beim Schallauftritt auf ein Bauteil

EINFÜGUNGSDÄMM-MAß $D_{E,K}$ EINER KAPSELUNG



$$D_{e,K} = L_o - L_m \text{ dB}$$

EINFÜGUNGSDÄMM-MAß EINER KAPSELUNG

Gruppe	Kapselkonstruktion	A-bewertete Schallpegelminderung (je nach Spektrum) D_{pA}
I	Schalldämmende Matte, 5 – 6 kg/m ² $F_0/F_K < 10\%$	3 – 10 dB
II a	Nicht schallabsorbierend ausgekleidete einschalige Kapsel, 5 – 15 kg/m ² $F_0/F_K < 5\%$	5 – 15 dB
II b	Schallabsorbierend ausgekleidete einschalige Kapsel, 5 – 15 kg/m ² $F_0/F_K < 0,5\%$	7 – 25 dB
II c	Schallabsorbierend ausgekleidete einschalige Kapsel, 20 – 25 kg/m ² $F_0/F_K < 0,1\%$	10 – 30 dB
III a	Schallabsorbierend ausgekleidete zweischalige Kapsel oder schwere, einschalige Kapsel (gemauert), 5 – 10 kg/m ² je Schale oder ca. 100 kg/m ² $F_0/F_K < 0,01\%$	20 – 40 dB
III b	Schallabsorbierend ausgekleidete zweischalige Kapsel oder schwere, einschalige Kapsel (gemauert), 10 – 15 kg/m ² je Schale oder ca. 400 kg/m ² $F_0/F_K = 0$	30 – 50 dB

Tabelle 1: Kapselkonstruktion und erreichbare A-bewertete Schallpegelminderung [2]

[2] VDI 2711

entnommen aus DGUV Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-243 (3)

MINDERUNG LÄRMEXPOSITIONSPEGEL

Neben der Wirksamkeit der Kapselung abhängig von:

1. Höhe der Geräusche durch benachbarte Maschinen (Fremdgeräuschsituation)
 - Eine Minderung unterhalb des Fremdgeräuschpegels ist nicht möglich
2. Anzahl erforderlicher Öffnungen der Kapselung und Dauer der Öffnungszeit zur Materialeingabe und/oder -entnahme

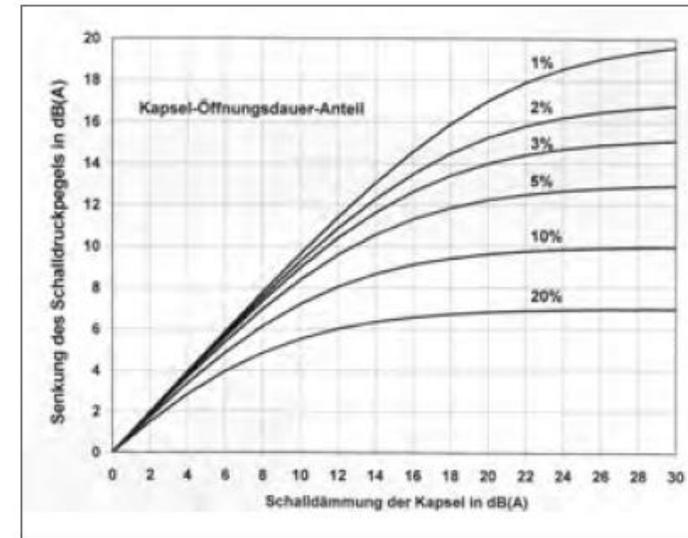


Bild 4: Wirksamkeit einer zeitweilig offenen Kapsel in Abhängigkeit von der Schalldämmung und der Öffnungsdauer

entnommen aus DGUV Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-243

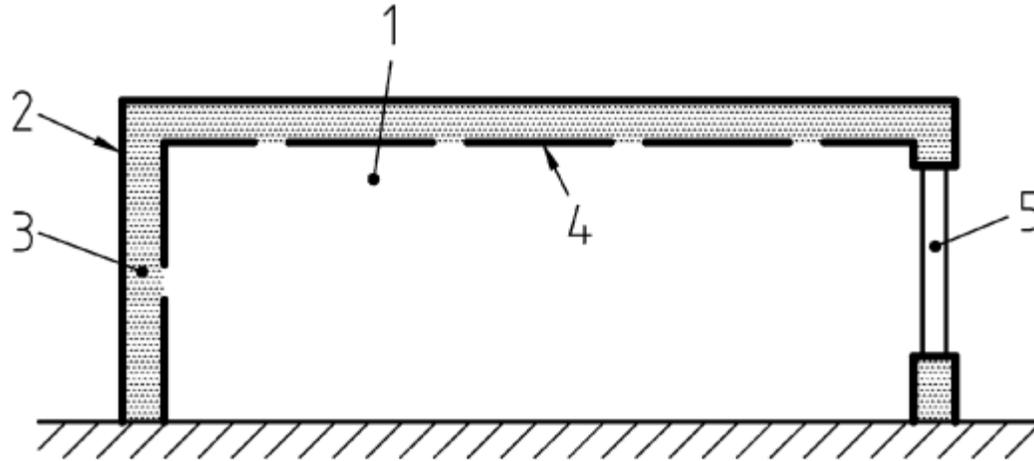
SCHALLSCHUTZKAPSELUNGEN

MÜLLER-BBM

ALLGEMEINES

- Unterscheidung zwischen Kapselung und Kabine
- Kapselung beeinflusst Schallausbreitung in Quellennähe; oft sinnvoll, wenn raumakustische Maßnahmen nicht wirksam sind
- Kapselungen reduzieren durch Abdeckung/Einhausung die Geräuschabstrahlung eines Schallemittentes (Maschine) zum Schutz der Umgebung vor dieser Quelle
 - Vollkapseln; deren offene Oberfläche $\leq 10\%$ beträgt
 - Teilkapseln, mit mehr als 10% offener Oberfläche
 - Integrierte Kapseln, als fester Bestandteil einer Maschine
- Kleine Kapseln werden als Hauben gezeichnet
- Kabinen schützen Menschen in einem bestimmten Bereich vor Umgebungslärm durch eine vollständig umhüllende Konstruktion

SCHEMATISCHER AUFBAU EINER KAPSEL/KABINE



Legende

- 1 Raum für Schallquelle oder Arbeitsplatz
- 2 Außenhülle
- 3 Absorbierende Auskleidung
- 4 Gelochte Abdeckung
- 5 Fenster

Bild 2: Schallschutzkapsel oder -kabine (schematisch)

entnommen aus DIN EN ISO 15667 (1)

VOLLKAPSELUNG



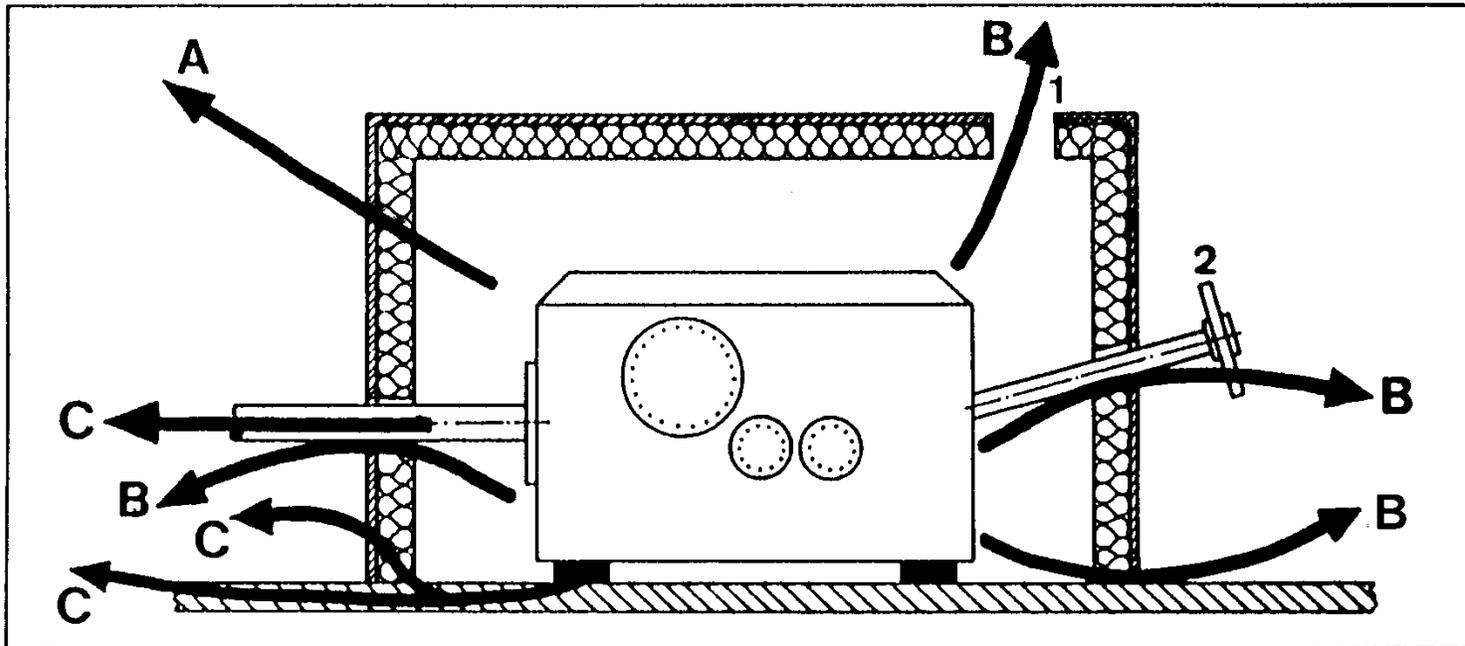
TEILKAPSELUNG FÜR MOTOR UND KONSOLE



INTEGRIERTE KAPSELUNG



SCHALLÜBERTRAGUNGSWEGE EINER KAPSELUNG



Luftschallübertragungswege:

A (über Kapselwandung)

B (Undichtigkeiten/Öffnungen)

Körperschallübertragungswege C und anschließende Abstrahlung als Luftschall

AUSLEGUNG/VORAUSSBESTIMMUNG $D_{E,K}$ EINER KAPSELUNG

$$D_{e,K} = -10 \lg \left(10^{-0,1\Delta L_K} + 10^{-0,1\Delta L_{\ddot{O}}} + 10^{-0,1\Delta L_V} \right)$$

ΔL_K zu erwartende Schallpegelsenkung bei Schallübertragung allein über Kapselwände (Weg A)

$\Delta L_{\ddot{O}}$ zu erwartende Schallpegelsenkung bei Schallübertragung allein über Öffnungen und Undichtigkeiten (Weg B)

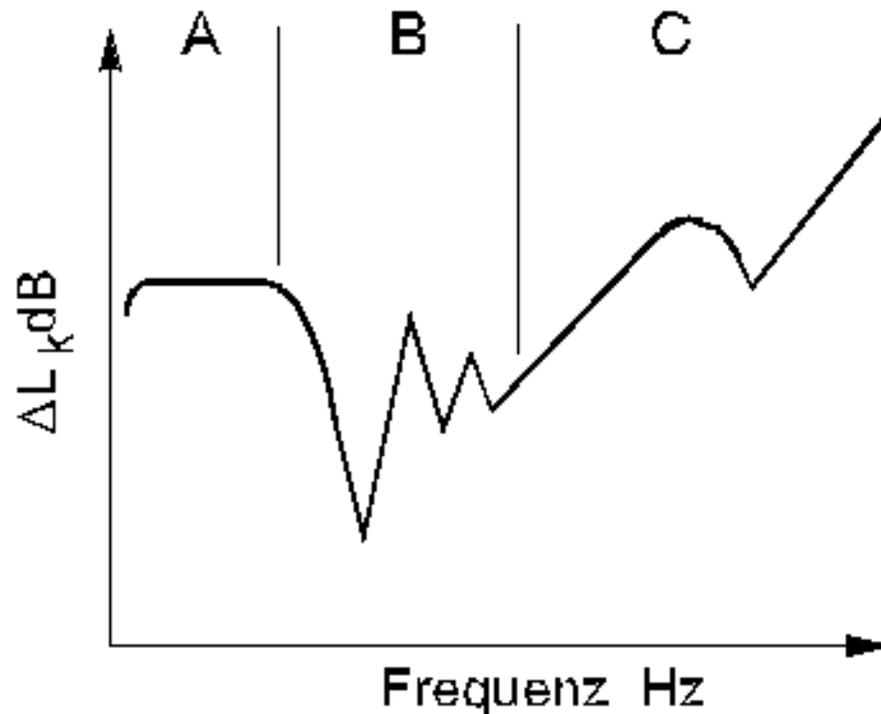
ΔL_V zu erwartende Schallpegelsenkung bei Schallübertragung allein über starre Verbindungen (Weg C)

AUSLEGUNG/VORAUSSBESTIMMUNG $D_{E,K}$ EINER KAPSELUNG

Beispiel: $\Delta L_K = 39$ dB (Kapselwandung)
 $\Delta L_{\text{ö}} = 10$ dB (Öffnungen/Undichtigkeiten)
 $\Delta L_V = 100$ dB (Körperschallweg)

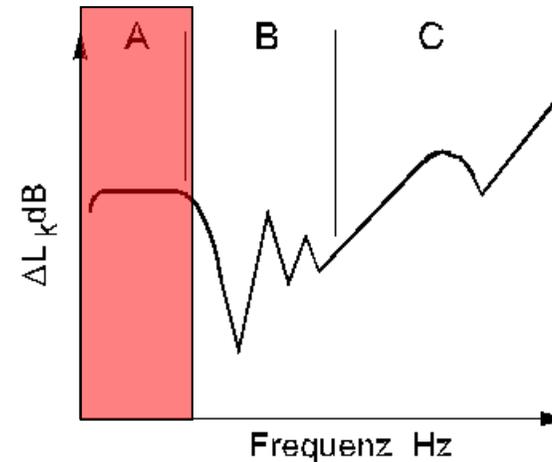
$$D_{e,K} = -10 \lg(10^{-0,1 \cdot 39} + 10^{-0,1 \cdot 10} + 10^{-0,1 \cdot 100}) \approx 10 \text{ dB}$$

PEGELSENKUNG BEI SCHALLÜBERTRAGUNG ÜBER KAPSELWÄNDE ΔL_K (WEG A)



Freistehende, abgedichtete Vollkapsel

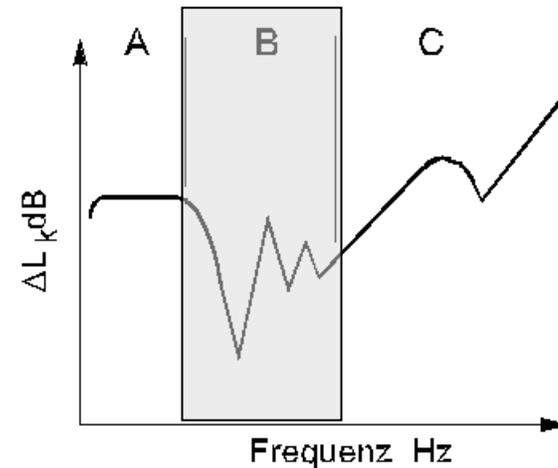
SCHALLÜBERTRAGUNG ÜBER KAPSELWÄNDE ΔL_K



Bereich A

- Kapselausdehnung kleiner $\lambda/4$
- Eigenschwingungsformen im Schallfeld und auf der Wand werden nicht angeregt
- Nahezu konstante Druckverteilung in Kapsel
- Schallabsorption in Kapsel und Entdröhnung der Kapselwand sind unwirksam

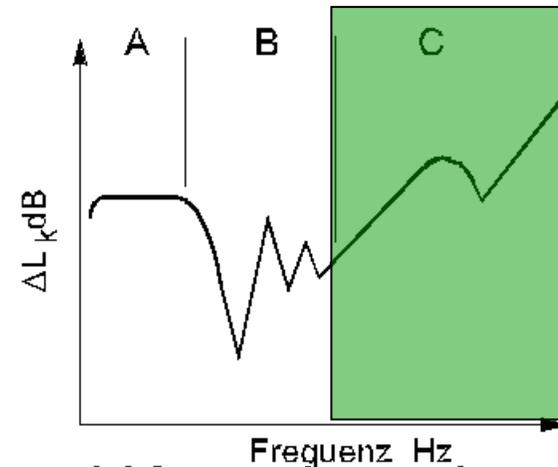
SCHALLÜBERTRAGUNG ÜBER KAPSELWÄNDE ΔL_K



Bereich B

- Erste Eigenschwingungsformen im Schallfeld und auf der Wand werden angeregt.
- Schallabsorption in Kapsel und Entdröhnung der Kapselwand beginnen zu wirken.

SCHALLÜBERTRAGUNG ÜBER KAPSELWÄNDE ΔL_K



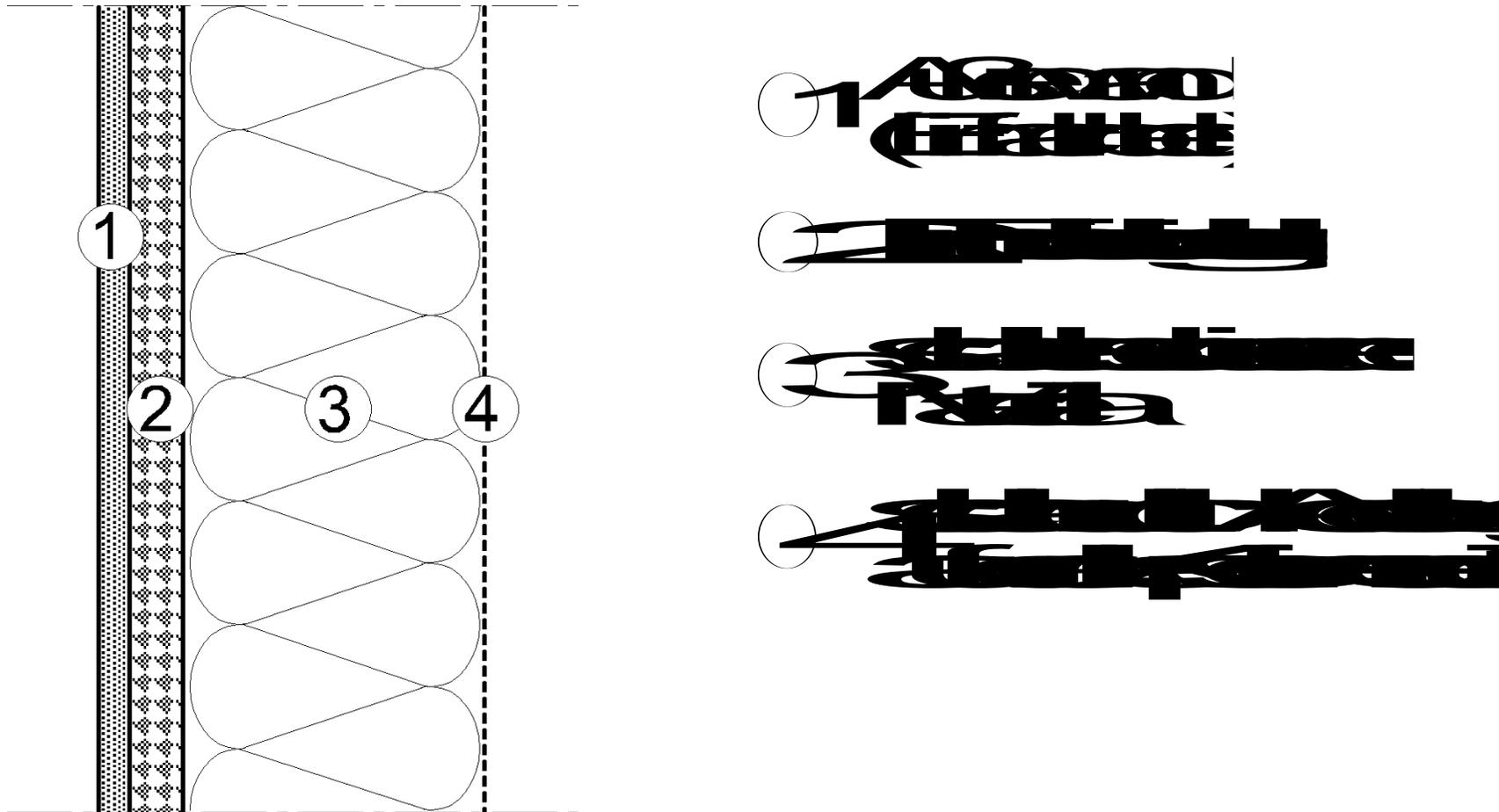
Bereich C

- Eingeschlossenes Luftvolumen und Kapselwand weisen Vielzahl akustischer Resonanzen auf.

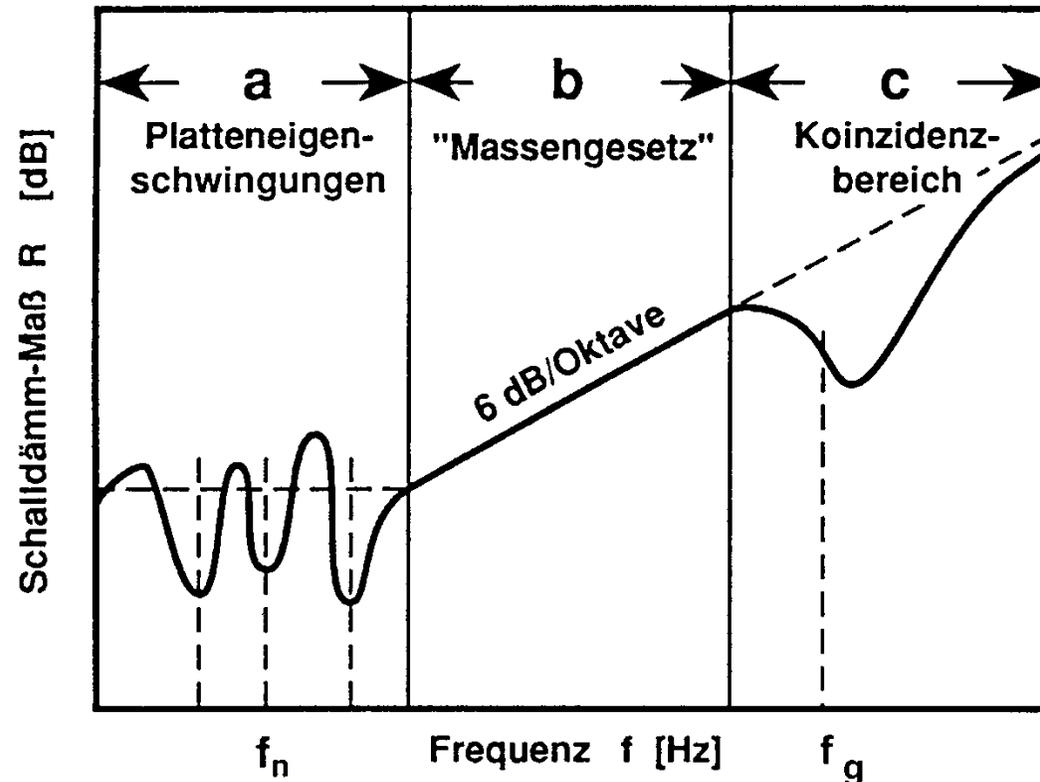
$$\Delta L_K = R - 10 \lg \left(\frac{S_K}{A_K} \right) = R - 10 \lg \left(\frac{1}{\alpha} \right)$$

- Mindestabstand zwischen Schallquelle und Kapselwand zur Vermeidung von Resonanzen (Luftschall)

TYPISCHER AUFBAU EINER EINSCHALIGEN KAPSELWAND



SCHALLDÄMMUNG EINSCHALIGER BAUTEILE



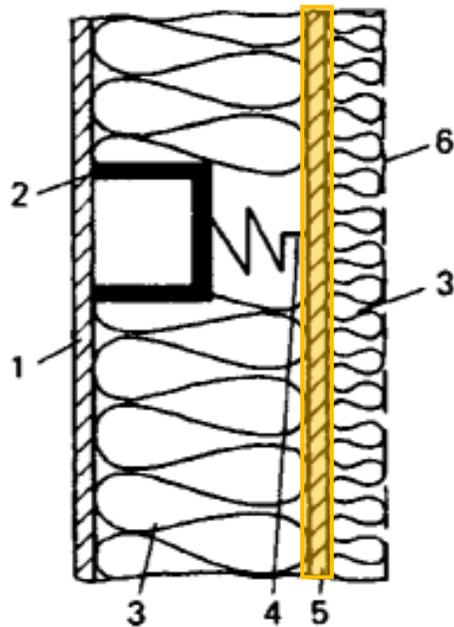
Prinzipieller Verlauf des Schalldämm-Maßes über der Frequenz

SCHALLDÄMMUNG EINSCHALIGER BAUTEILE

Baustoff/ Material	Dicke d in mm	flächenbez. Masse m' in kg/m ²	Schalldämmmaß R in dB						Bewertetes Dämmmaß R _w in dB
			Oktavmittenfrequenz in Hz						
			125	250	500	1000	2000	4000	
Stahlblech	1	8	17	23	30	32	35	38	31
	3.5	28	29	33	36	39	41	31	39
Holzspanplatte	22	15	22	22	27	28	22	24	26
Gipskartonplatte	12,5	11	21	26	28	31	30	32	30
Vollziegel (beidseitig verputzt)	70	170	31	39	39	37	49	53	42
Bauglas	3.5	9	19	22	27	31	32	34	30
Acrylglas	4	5	15	18	21	28	31	33	26

entnommen aus DGUV Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-243 (3)

TYPISCHER AUFBAU EINER ZWEISCHALIGEN KAPSELWAND

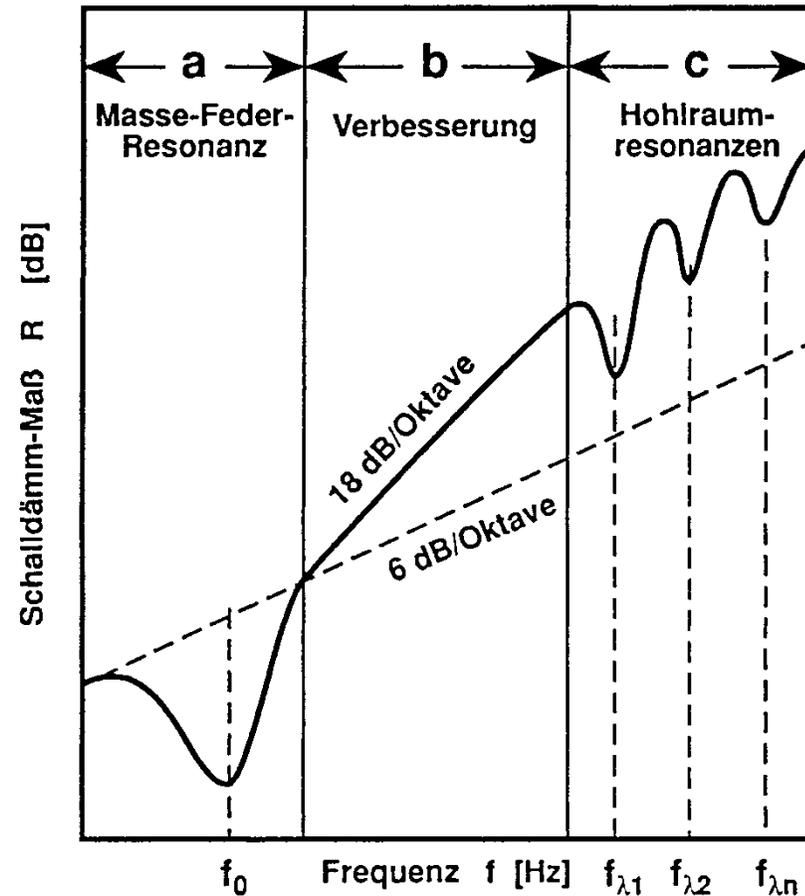


- 1 Außenwand
- 2 Profilrahmen
- 3 schallabsorbierendes Material
- 4 elastische Elemente
- 5 Innenwand
- 6 schalldurchlässige Abdeckung

Bild 9. Prinzipaufbau einer zweischaligen Kapselwandung

entnommen aus VDI 2711 (2)

SCHALLDÄMMUNG DOPPELSCHALIGER BAUTEILE



Prinzipieller Verlauf des Schalldämm-Maßes über der Frequenz

SCHALLÜBERTRAGUNG ÜBER ÖFFNUNGEN $\Delta L_{\ddot{O}}$ (WEG B)

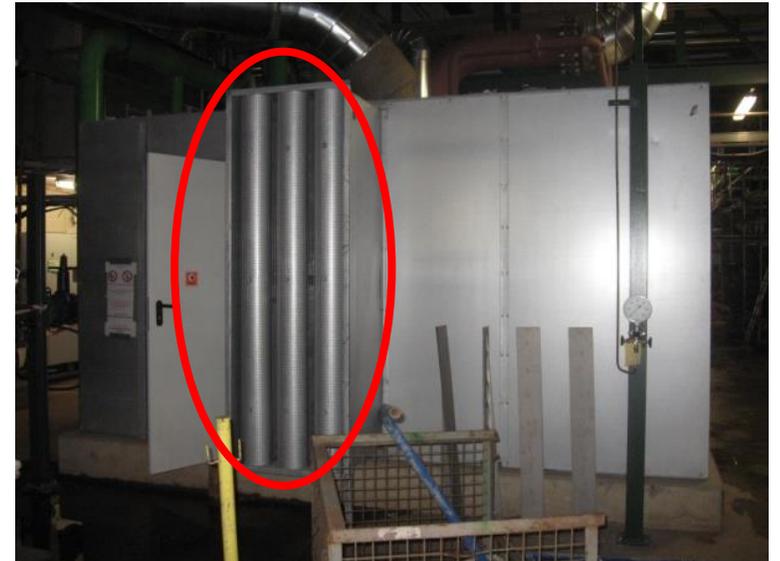
Erreichbare Pegelsenkung abhängig vom Flächenverhältnis ($a \rightarrow 1$)

$$\Delta L_{\ddot{O}} = 10 \lg \left(\frac{S_{Ges}}{S_{\ddot{O}}} \right) \text{ dB}$$

Schalldämpfer mit Einfügungsdämpfung D_{SD} für
Be- und Entlüftungsöffnungen

$$\Delta L_{\ddot{O},D} = D_{SD} + \Delta L_{\ddot{O}} \text{ dB}$$

SCHALLDÄMPFER IN ZU-/ABLUFTÖFFNUNGEN



SCHALLDÄMPFENDE ZU- ABLUFTEINRICHTUNGEN

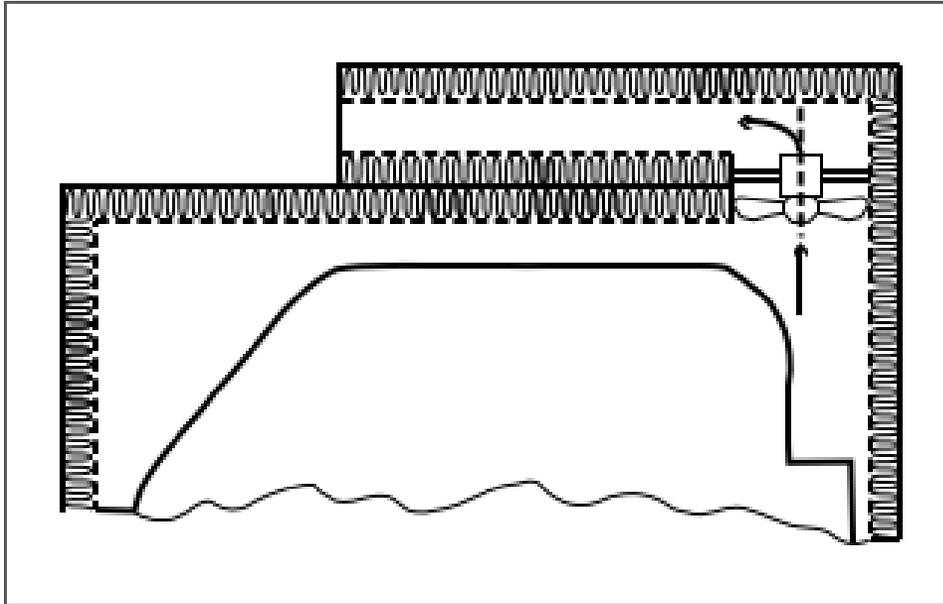


Bild 11: Entlüftungsöffnung einer Kapsel mit angeschlossener Schalldämpferstrecke

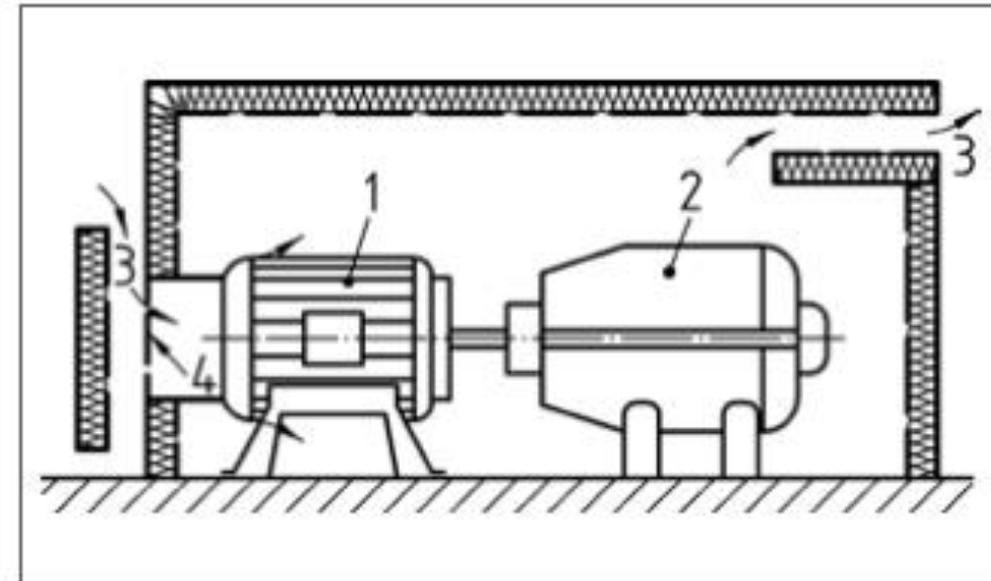
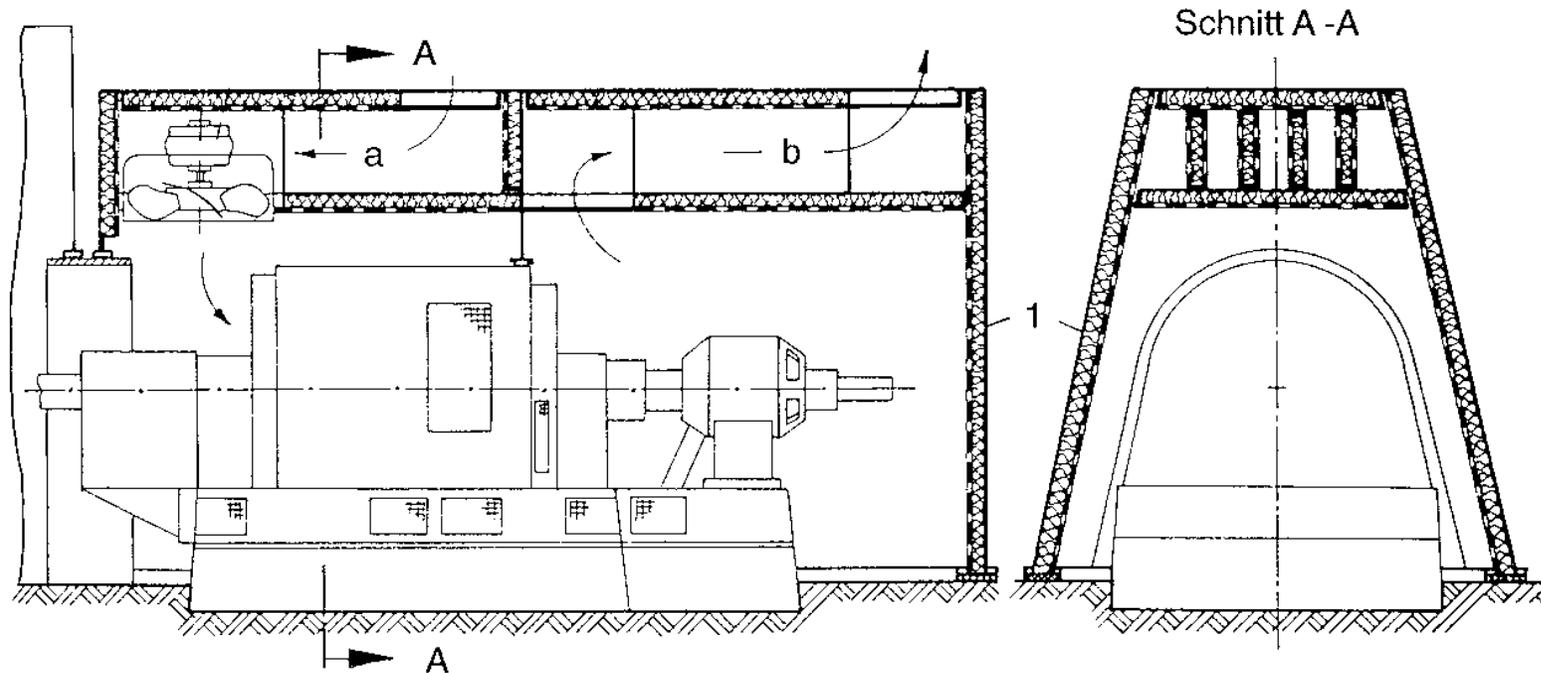


Bild 12: Kapsel für luftgekühlten Elektromotor mit Turbokompressor [1]

- 1 Elektromotor;
- 2 Turbokompressor;
- 3 Schallgedämpfte Ein- und Auslasskanäle;
- 4 Schutzgitter

Beide Abbildungen entnommen aus DGVU Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-243 (3)

SCHALLDÄMPFENDE ZU- ABLUFTEINRICHTUNGEN



a Zuluft, b Abluft

1 Kapselwand aus Stahlblech mit Absorptionsmaterial

ÖFFNUNGEN, UNDICHTIGKEITEN

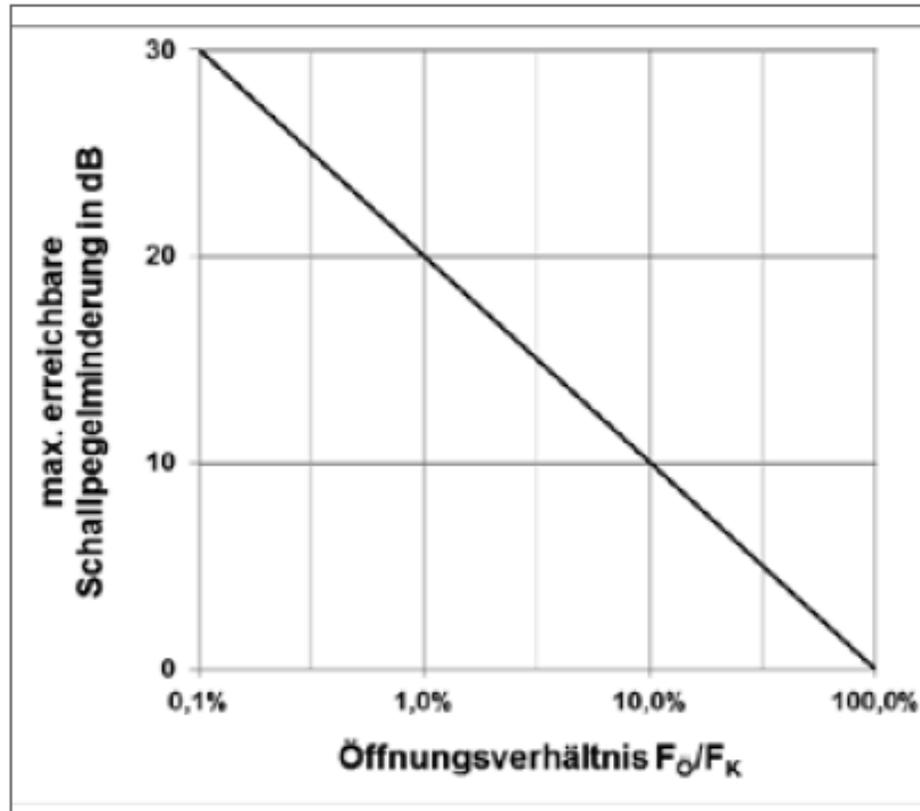


Bild 7: Theoretisch maximal erreichbare Schallpegelminderung in Abhängigkeit vom Öffnungsverhältnis F_O/F_K

entnommen aus DGVU Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-243 (3)

- Undichtigkeiten (Durchführungen für Wellen, Rohre, Schläuche, Kabel aber auch Material) reduzieren die Schalldämmung erheblich!
- $R = 50$ dB bedeutet, dass nur der 100000. Teil der auftreffenden Schalleistung durchgelassen werden darf.

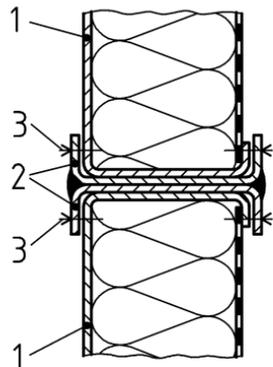
• 1/10000	40 dB
1/1000	30 dB
1/100	20 dB
1/10	10 dB

KÖRPERSCHALLÜBERTRAGUNG (WEG C)

- Geräuschabstrahlung von flankierenden Bauteilen, die von der Kapselung unbeeinflusst bleiben, wie beispielsweise
 - der Boden
 - ungekapselte Maschinenteile (Welle)
 - zugeführtes Material bzw. erstelltes Produkt
 - mit der Maschine verbundene Rohrleitungen
- Die Beträge dieser Übertragungswege setzen der akustischen Wirksamkeit einer sonst gut konstruierten Kapsel letztendlich Grenzen. Dies gilt besonders für Kapseln mit hoher schalltechnischer Anforderung.

KONSTRUKTIONSHINWEISE - UNDICHTIGKEITEN

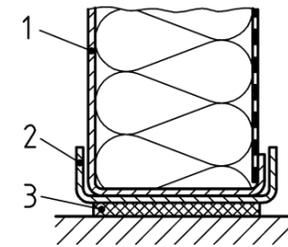
- Bei Kapselungen aus mehreren Elementen bzw. bei Durchführungen/Einbauten sind Dichtungen zwischen den Elementen/Einbauten und zum Boden erforderlich



Legende

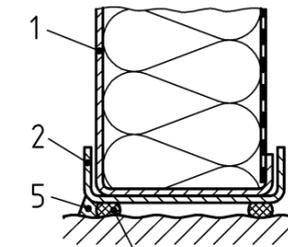
- 1 Kapselwandelement
- 2 Verschweißte U-Profile
- 3 Schraubverbindung

Bild A.2: Beispiel für die Vertikalverbindung von Kapselwandelementen



a)

a) auf einem glatten Boden



b)

b) auf einem rauhen (Beton-)Boden

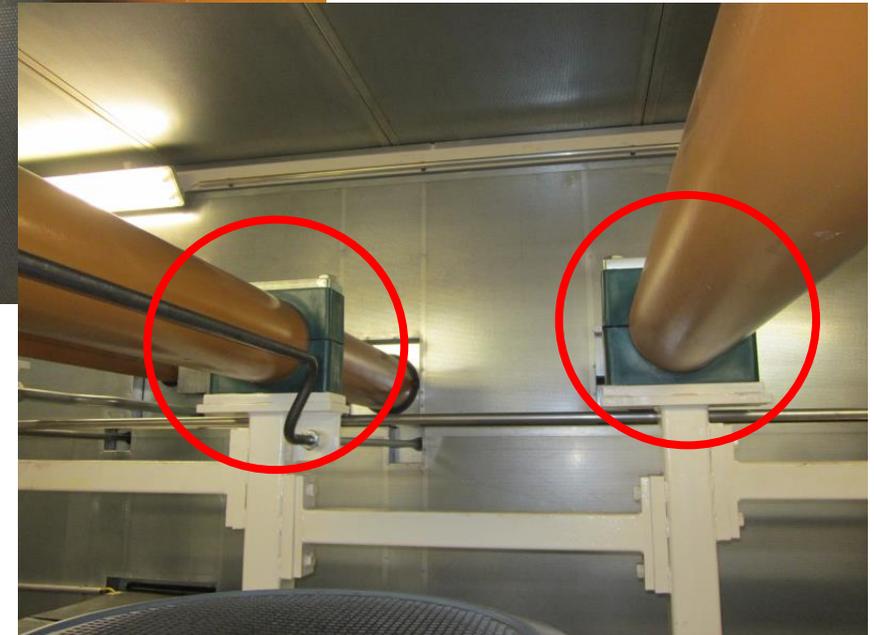
Legende

- 1 Kapselwandelement
- 2 U-Profil
- 3 Selbstklebende Gummidichtung
- 4 Plastilinähnliche Dichtung
- 5 Mastixkehle

Bild A.3: Beispiel für die Aufstellung der Kapselwand
(weitere Arten der Aufstellung siehe Bild A.19 und Bild A.26)

beide Abbildungen entnommen aus DIN EN ISO 15667 (1)

KONSTRUKTIONSHINWEISE - UNDICHTIGKEITEN



KONSTRUKTIONSHINWEISE - ABMESSUNGEN

- Bei tieffrequenten Geräuschen ist auf einen ausreichenden Abstand zwischen Kapselwandung und Maschine zu achten. Nach DIN 15667 berechnet sich der Mindestabstand nach

$$d \geq \frac{2 \cdot 10^4}{m' \cdot f^2}$$

mit:

d – Mindestabstand in m

m' – flächenbezogene Masse der Kapselwandung in
kg/m² (Masse je Flächeneinheit)

f – tiefste Frequenz in Hz, bei der eine ausreichende
Schalldämmung gefordert ist

- Wegen möglicher Körperschallübertragung sollte direkter Kontakt vermieden werden

KONSTRUKTIONSHINWEISE – SCHALLABSORBIERENDE AUSKLEIDUNG I

- Die Dämmung der Kapselwandung verhindert den „Abfluss von Schallenergie“, wodurch sich der Schalldruckpegel im Inneren der Kapselung durch Reflexionen erhöht.
- Eine schallabsorbierende Innenauskleidung reduziert den Schalldruckpegel innerhalb der Kapselung.
- Damit erhöht sich frequenzabhängig die Wirksamkeit der Kapselung um bis zu 10 dB.

KONSTRUKTIONSHINWEISE – SCHALLABSORBIERENDE AUSKLEIDUNG II

- Als Material werden poröse Stoffe wie Mineralfaser, ggfs. Metallwolle oder offenporige Kunststoffschäume verwendet. Die Dicke der Absorptionsschicht muss um so größer sein, je niedriger die Frequenz des zu dämmenden Geräusches ist. Üblich sind Schichtdicken von 50 bis 100 mm, jedoch nicht unter 30 mm.

Material	Dicke d in mm	Absorptionsgrad α					
		bei der Oktavmittenfrequenz in Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
Mineralfaserplatte mit Kaschierung aus Faservlies ($\rho \approx 30 - 50 \text{ kg/m}^3$)	30	0,15	0,3	0,6	0,9	1,0	1,0
	50	0,25	0,65	0,85	1,0	1,0	1,0
	100	0,35	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Weichschaumstoffplatte ($\rho \approx 10 - 15 \text{ kg/m}^3$)	35	0,1	0,25	0,65	0,9	1,0	1,0
	50	0,15	0,35	0,7	0,9	1,0	1,0
	100	0,35	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0

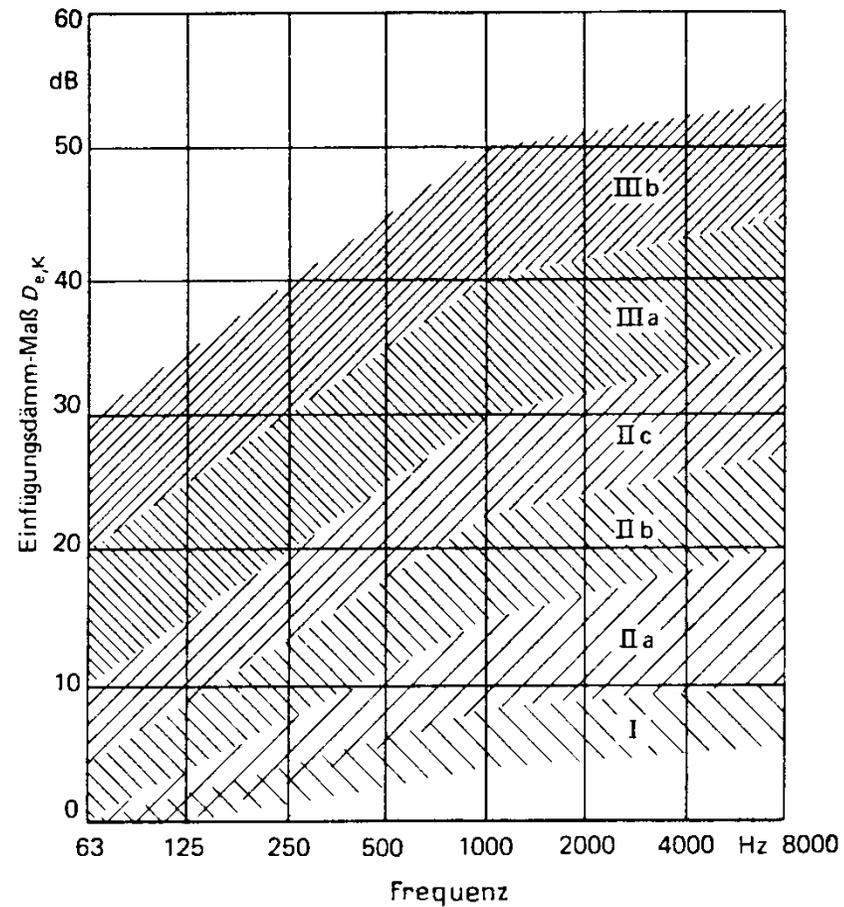
Tabelle 3: Schallabsorption unterschiedlicher Materialien

entnommen aus DGVU Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-243 (3)

KAPSELAUSLEGUNG NACH VDI 2711

MÜLLER-BBM

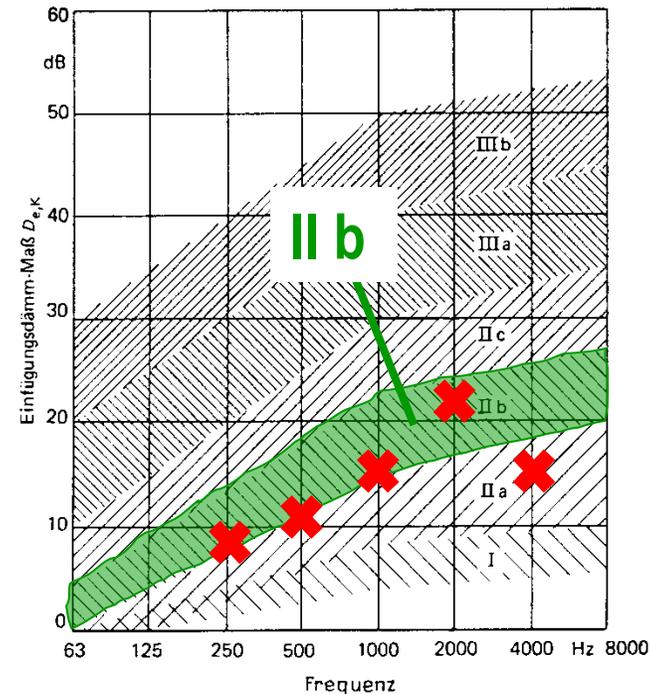
KAPSELAUSLEGUNG NACH VDI 2711



entnommen aus VDI 2711 (2)

KAPSELAUSLEGUNG NACH VDI 2711

Beispiel:
Schallschutzkapsel für Mühle



	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Σ
L_{WA} Ist	57	75	93	95	99	106	99	86	108
L_{WA} Soll	84	84	84	84	84	84	84	84	93
Erf. $D_{e,K}$	-	-	9	11	15	22	15	2	

KAPSELAUSLEGUNG NACH VDI 2711

Gruppe	Kapselkonstruktion	Flächengewicht*) der Kapselwandung	Abdichtung und zulässige Öffnungs- größe □)	Körperschalldämmung ^Δ) (im allgemeinen erforder- lich und dem jeweiligen Anwendungsfall angepaßt)	A-Schallpegel mind. je nach Schall- spektrum $\Delta L_{A,K}$
I	schalldämmende Matte nach Abschn. 7.3.1	5 bis 6 kg/m ²	keine besonderen Abdichtungsmaßnahmen erforderlich, gesamte Öffnungsfläche: < 10 % □)	keine	3 bis 10 dB
IIa	nicht schallabsorbierend ausgekleidete ein-	5 bis 15 kg/m ²	gesamte Öffnungsfläche: < 5 % □)	je nach Fall keine oder einfache elastische Lagerung	5 bis 15 dB

IIb	schallabsorbierend ausgekleidete ein- schalige Kapsel nach Abschn. 7.3.2	5 bis 15 kg/m²	Abdichtung nach Bild 13a, 14c oder 14d, 15a, 16a, 17a oder 18a, 19a gesamte Öffnungs- fläche: < 0,5 % □)	einfache elastische Lagerung der Schallquelle nach Bild 21 und Abschn. 7.5.1 oder elastische Fundamenttrennung bei Aufstellung auf gewachse- nem Boden Aufstellung und Befestigung der Kapsel siehe Abdichtung	7 bis 25 dB
------------	---	----------------------------------	---	---	--------------------

	gekleidete einschalige Kapsel nach Abschn. 7.3.2		13 b, 14a, b oder -e, 15 a oder 15 b, 16 b oder -c, 17 c, 18 b, 19 b, gesamte Öffnungsfläche: < 0,1 % □)	evtl. Entdämmung nach Abschn. 7.3.2.2	
IIIa	schallabsorbierend aus- gekleidete zweischalige Kapsel nach Abschn. 7.3.3 oder schwere, einschalige Kapsel (gemauert)	5 bis 10 kg/m ² je Schale etwa 100 kg/m ²	Abdichtung wie II c, gesamte Öffnungsfläche: < 0,01 % □)	doppelt elastische Lagerung der Schallquelle nach Bild 23 und Abschn. 7.5 oder einfache elastische Lage- rung mit Fundamenttrennung Aufstellung und Befestigung der Kapsel wie bei Abdichtung	20 bis 40 dB
IIIb	schallabsorbierend aus- gekleidete zweischalige	10 bis 15 kg/m ² je Schale	Durchführungen und Zerlehnbarkeit möglichst	wie III a	30 bis 50 dB

PRAXISBEISPIEL

MÜLLER-BBM

VORFÜHRUNG

1. Ohne Kapselung
2. Dämmung
3. Elastische Lagerung
4. Dämpfung
5. Lüftungsöffnung (Öffnungsanteil)
6. Lüftungsschalldämpfer



VIELEN DANK. FRAGEN?

Dr.-Ing. Andreas Bauer
Müller-BBM Industry Solutions GmbH
Andreas.Bauer@mbbm-ind.com

Brechensbauer Weinhardt + Partner Architekten mbH | Foto: Massimo Fiorito

MÜLLER-BBM