



# Lärmbekämpfung durch Kapselungen

Suva  
Arbeitsicherheit  
Postfach, 6002 Luzern

Für Auskünfte:  
Tel. 041 419 61 34

Für Bestellungen:  
[www.suva.ch/waswo](http://www.suva.ch/waswo)  
Fax 041 419 59 17  
Tel. 041 419 58 51

### **Lärmbekämpfung durch Kapselungen**

Verfasser: Walter Lips, Bereich Physik

Titelbild: Das Prinzip der Kapselung finden wir auch in der Natur. Der stachelige Mantel schützt den Kern der Kastanie vor schädlichen Einflüssen von aussen. Bei der Kapselung von Maschinen ist es gerade umgekehrt: Geschützt wird hier die Umgebung, und zwar vor zu viel Lärm.

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – mit Quellenangabe gestattet.

1. Auflage – November 1989

Überarbeitung – August 2008

9. Auflage – August 2008 – 7'500 bis 8'500 Exemplare

**Bestellnummer: 66026.d**

# Inhalt

<b>Einleitung</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>Berechnung einer Kapselung</b>	<b>15</b>	
<b>1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>3</b>	6.1	Abschätzverfahren	15
1.1	Lärmbekämpfungsmassnahmen	3	6.2	Genaueres Berechnungsverfahren	15
1.2	Bauarten von Kapselung	3	6.2.1	Aufgabenstellung	15
1.3	Beispiele für zu kapselnde Maschinen	3	6.2.2	Berechnungsgrundlagen	16
<b>2</b>	<b>Funktionsprinzip und Einflussgrössen</b>	<b>4</b>	6.2.3	Berechnung	16
2.1	Reflexionen an der Kapselinnenwand	4	6.2.4	Wahl der Kapselung	16
2.2	Luftschalldämmung der Kapselwand	4	6.3	Zusammenfassung	16
2.3	Messung der Wirksamkeit einer Kapselung	4	<b>7</b>	<b>Kosten-Nutzen-Überlegungen</b>	<b>17</b>
2.4	Dämmverluste durch Öffnungen und Undichtigkeiten	5	7.1	Allgemeines	17
2.5	Körperschallübertragungen	5	7.2	Erfahrungswert	17
2.6	Weitere Begriffe	5	<b>8</b>	<b>Beispiele</b>	<b>18</b>
2.7	Zusammenfassung	5	8.1	Gute Beispiele	18
<b>3</b>	<b>Anforderungen an Kapselungen</b>	<b>7</b>	8.1.1	Kunststoffmühle	18
3.1	Allgemeine Anforderungen	7	8.1.2	Schraubenverpackungsanlage	18
3.2	Schalltechnische Anforderungen	7	8.1.3	Ultraschallschweissmaschine	19
3.2.1	Wirksamkeit einer Kapselung	7	8.1.4	Falzapparat an Rotationsdruckmaschine	20
3.2.2	Schalldämmung	8	8.1.5	GFK-Rohrschleuderanlage	20
3.2.3	Schallabsorption	8	8.1.6	Teilkapselung einer Exzenterstanzmaschine	21
<b>4</b>	<b>Konstruktive Hinweise</b>	<b>9</b>	8.1.7	Press- und Montageautomat	21
4.1	Allgemeines	9	8.1.8	Kommandoräume	22
4.2	Konstruktionsmerkmale	9	8.1.9	Hydraulikaggregat	23
4.3	Festlegung der Abmessungen	10	8.1.10	Stanzautomat	23
4.4	Entdröhnen	10	8.1.11	Teilkapselung einer Doppelgehrungs-kreissäge	24
4.5	Schallabsorbierende Auskleidung	10	8.1.12	Integrierte Kapselung	25
4.6	Abdeckung des Absorptionsmaterials	10	8.2	Unbefriedigende Beispiele	25
4.7	Versteifung des Kapselaufbaus	10	8.2.1	Gesenkschmiedepresse	25
4.8	Öffnungen und Dichtungen	11	8.2.2	Peltonturbinen	26
4.8.1	Belüftungs- und Entlüftungsöffnungen	11	8.2.3	Kunststoffmühle	27
4.8.2	Öffnungen für Materialzufuhr und -entnahme	11	8.2.4	Buchbindereimaschine	28
4.8.3	Abdichtung beim Übergang zwischen Kapselwand und angrenzenden Bauteilen	12	<b>9</b>	<b>Bestellung der Kapselung</b>	<b>29</b>
4.8.4	Türen, Fenster und Klappen	12	<b>10</b>	<b>Schlussbemerkung</b>	<b>30</b>
4.9	Prototypen und Teilkapselungen	12	<b>Dank</b>	<b>31</b>	
<b>5</b>	<b>Ausführungsbeispiele Kapselwandung</b>	<b>13</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>31</b>	
5.1	Spezialfirmen	13	<b>Anhang</b>	<b>32</b>	
5.2	Einschaliger Wandaufbau	13	Muster einer Offert- und Bestellspezifikation für schalldämmende Kapselungen		
5.3	Zweischaliger Wandaufbau	14			

# Einleitung

Es gibt eine ganze Reihe von Lärmquellen, bei denen die Schallausbreitung nur mit Hilfe einer schalldämmenden Kapselung eingeschränkt werden kann. Es sind dies vor allem Maschinen mit grosser Arbeitsleistung, hohen Drehzahlen oder Drücken sowie Hilfsaggregate. In solchen Fällen ist die schalldämmende Kapselung (im Folgenden Kapselung genannt) oft die einzige Möglichkeit, den Schallpegel deutlich zu verringern. Kapselungen werden aber auch in jenen Fällen eingesetzt, wo es um die Beeinträchtigung benachbarter Arbeitsplätze durch niedrigere Schallpegel geht (z. B. EDV-Anlagen wie leistungsfähige Drucker, Rechner usw.) oder um sehr hohe Frequenzen (z. B. Ultraschallanlagen). Speziell geeignet für den Einsatz von Kapselungen sind automatisch betriebene Maschinen und Anlagen.

Die vorliegende Publikation soll einen Überblick vermitteln über die Probleme beim Bau von Kapselungen. Auch die Grenzen des technisch Machbaren und des finanziell Tragbaren werden darin aufgezeigt.

Der Inhalt wurde so zusammengestellt, dass auch der Praktiker im Betrieb mit Hilfe dieser Broschüre Probleme beurteilen und Lösungen finden kann. Es handelt sich nicht um eine wissenschaftliche Arbeit, sondern um ein «Rezeptbuch» für den Alltag!



Bild 1: Gekapselter Zuschneidautomat für Holzplatten.



# 1 Allgemeines

## 1.1 Lärmbekämpfungsmassnahmen

Die Lärmbekämpfungsmassnahmen an einer Lärmquelle gliedern sich in drei Hauptgruppen:

- Massnahmen zur Reduktion der Schallentstehung
- Massnahmen zur Reduktion der Schallübertragung
- Massnahmen zur Reduktion der Schallabstrahlung

Diese drei Hauptgruppen werden auch als Primärmassnahmen bezeichnet, weil sich all diese Anstrengungen zur Lärmbekämpfung auf die eigentliche Quelle konzentrieren (inkl. Schallabstrahlung). Eine Kapselung hat aber die Aufgabe, den von einer Maschine abgestrahlten Schall bezüglich seiner Ausbreitung zu reduzieren. Aus diesem Grund wird die Kapselung zuweilen auch als Sekundärmassnahme bezeichnet.

## 1.2 Bauarten von Kapselungen

Es wäre falsch oder zumindest eine unzulässige Vereinfachung, Kapselungen ganz allgemein als «schalldichte Kisten» zu bezeichnen. Je nach Bauart werden drei Arten von Kapselungen unterschieden:

- Vollkapselungen
- Teilkapselungen
- In die Maschinenkonstruktion einbezogene Kapselungen (integrierte Kapselungen)

Diese Unterscheidung wird bei der Grobbeurteilung eines Problems bereits erste Lösungsmöglichkeiten aufzeigen.

## 1.3 Beispiele für zu kapselnde Maschinen

Die Einsatzmöglichkeiten für Kapselungen sind ausserordentlich vielfältig. Wenn Sie am Abend Ihre tickende Uhr in die Schublade des Nachttischchens legen, damit sie nachts ungestört schlafen können, kapseln Sie diese Lärmquelle. Im Extremfall ist auch eine schwere, geschlossene Gebäudehülle, beispielsweise eine Wasserkraftwerkzentrale, eine Kapselung. Zwischen diesen beiden Beispielen liegen jene Fälle, mit denen wir uns hier befassen wollen (Voll- und Teilkapselungen):

- Bearbeitungsautomaten in der Metall-, Holz- und Kunststoffindustrie
- Abfüll- und Verpackungsautomaten in der chemischen Industrie, in der Lebensmittel- und Metallwarenindustrie
- Kompressoren (stationär und mobil), Gebläse
- Hydraulikaggregate und -pumpen
- Motoren (Elektro-, Benzin-/Diesel-, Gasmotoren), stationär und mobil
- Pumpen
- Troval- und Reinigungsanlagen, Zentrifugen
- Ultraschallschweissanlagen und -bäder
- Montageautomaten
- Fabrikationslinien
- Prüfstände allgemein
- Vibrationsförderer
- Stanz- und Pressautomaten
- Schneidmühlen, Hackmaschinen
- Sandstrahlanlagen
- Spinn- und Wickelautomaten, Webmaschinen in der Textilindustrie
- Schleif- und Schärfmaschinen für Werkzeuge
- Druckmaschinen, Falz- und Zusammentragmaschinen in der Papier- und Druckindustrie
- EDV-Anlagen (Plattenspeicher, Drucker)
- Dampf- und Gasturbinen
- Wärmeerzeugungsanlagen (Öfen, Brenner)
- Fertigungsanlagen in der Zementwarenindustrie

Sie sehen, es gibt eine Fülle von Anwendungsmöglichkeiten! Bei sehr grossen Anlagen, z. B. bei Kraftwerken, Stahl- und Walzwerken, Giessereien usw., wird nicht die Lärmquelle gekapselt, sondern der Mensch: Man baut schallgedämmte Stellerräume. Darauf soll hier aber nicht näher eingegangen werden.

## 2 Funktionsprinzip und Einflussgrößen

### 2.1 Reflexionen an der Kapselinnenwand

Der von der Schallquelle ausgehende Luftschall trifft auf die Oberfläche der Kapselinnenwand und wird dort – je nach Absorptionsvermögen – mehr oder weniger stark reflektiert (siehe Bild 2). Die Reflexionen haben innerhalb der Kapselung eine Pegelerhöhung zur Folge. Bei schallharten Oberflächen (z. B. Stahlblech) kann der Pegel so stark erhöht werden, dass die Wirksamkeit der Kapselung teilweise aufgehoben wird. Deshalb ist eine wirkungsvolle Schallabsorption der Kapselinnenwand sehr wichtig.

Das Mass für die Absorptionsfähigkeit einer Materialoberfläche ist der Schallabsorptionsgrad  $\alpha_s$ . Er gibt die Fähigkeit eines Materials an, den Schall zu «schlucken».  $\alpha_s$  liegt üblicherweise zwischen 0 und 1, wobei Werte über 1 (bis etwa 1,2) möglich sind. Grundsätzlich gilt: Je höher der Schallabsorptionsgrad  $\alpha_s$ , desto besser die Absorption. Absorbierende Schichten sind porös und meistens relativ leicht (z. B. Mineralfaserplatten, Glas- und Steinwolle usw.); vgl. Ziff. 3.2.3.

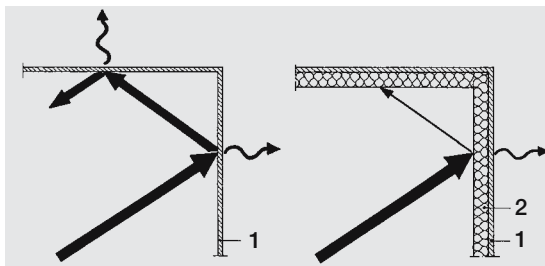


Bild 2: Reflexion (links) und Absorption (rechts) an Kapselinnenwand.

- 1 Kapselwand für die Luftschalldämmung
- 2 Absorptionsschicht

### 2.2 Luftschalldämmung der Kapselwand

Wie stark der Schallpegel durch eine geschlossene und schallabsorbierend ausgekleidete Kapselung reduziert wird, hängt im Wesentlichen von der Luftschalldämmung der Kapselwand ab. Der theoretisch mögliche Wert wird aber in der Praxis nur selten erreicht, da Öffnungen und Undichtigkeiten die Schalldämm-

ung beeinflussen (siehe Bild 3). Zur Erzielung einer hohen Luftschalldämmung braucht man schwere oder mehrschalige Systeme (z. B. Bleche, Holzplatten usw.).

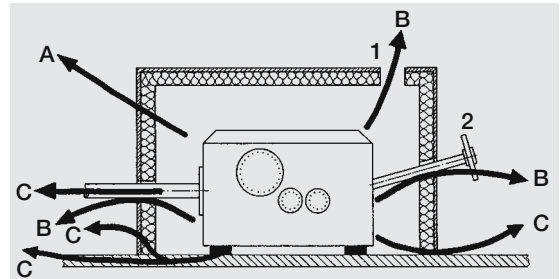


Bild 3: Beispiel für die Schallübertragungswege einer Kapselung.

1 Lüftungsöffnung

2 Bedienungselemente

Weg A: Luftschallübertragung über die Kapselwand

Weg B: Luftschallübertragung über Undichtigkeiten und Öffnungen

Weg C: Körperschallübertragung und Abstrahlung als Luftschall

### 2.3 Messung der Wirksamkeit einer Kapselung

Die Wirksamkeit einer Kapselung wird üblicherweise mit dem Einfügungsdämm-Mass  $D_{pA}$  angegeben. Man misst an einem oder mehreren Beurteilungspunkten ausserhalb der Kapselung den Schallpegel ohne Kapselung ( $L_Q$ ) und mit Kapselung ( $L_K$ ):

$$D_{pA} = L_Q - L_K \text{ [dB]} \quad \text{[GL 1]}$$

Die Messungen können in Terz- oder Oktavbandanalyse oder bei einer einfachen Abschätzung allenfalls nur in dB(A) durchgeführt werden. Die Messmethode und die entsprechenden Randbedingungen sind ausführlich beschrieben in der Norm EN ISO 15667 (2000), Akustik – Leitfaden für den Schallschutz durch Kapseln und Kabinen.

## 2.4 Dämmverluste durch Öffnungen und Undichtigkeiten

Die auf Grund des Kapselaufbaus maximal mögliche Pegelreduktion wird in den meisten Fällen nicht erreicht, da verschiedene unvermeidbare Öffnungen und Undichtigkeiten das Resultat verschlechtern:

- Öffnungen zur Be- und Entlüftung
- Öffnungen für Materialzufuhr und -entnahme
- Öffnungsflächen bei Rohr- oder Wellendurchführungen
- Undichte Stosstellen zwischen Kapselwand und angrenzenden Bauteilen
- Undichte Stosstellen zwischen einzelnen Kapselteilen
- Undichte Türen, Reparatur und Beobachtungsöffnungen

Die maximal erzielbare Pegelreduktion durch eine Kapselung hängt nicht nur vom Aufbau der Kapselwand (Luftschalldämmung), sondern in besonders starkem Masse vom gesamten freien Querschnitt  $S_f$  der Öffnungen ab (Beispiele siehe Tabelle 1). Mit  $S_f$  bezeichnet man die Summe aller Öffnungen (Angabe in % der gesamten Kapseloberfläche).

Summe aller Öffnung $S_f$	Erzielbares Einführungs-dämmmass bei einem optimalen Wandaufbau $D_{pA}$
0,01 %	ca. 40 dB
0,1 %	ca. 30 dB
1 %	ca. 20 dB
10 %	ca. 10 dB

Tabelle 1: Maximal erzielbare Pegelreduktion in Funktion des freien Querschnittes.

## 2.5 Körperschallübertragungen

Wird der Luftschallpegel einer Schallquelle überwiegend durch den Körperschall der Anlage bestimmt, reduziert dies die erzielbare Wirkung der Kapselung weiter (siehe Bild 3, Weg C). Mögliche Übertragungswege für Körperschall sind:

- Fehlende oder ungenügende Körperschalldämmung der Lagerung
- Starre Verbindung der Schallquelle mit der Kapselwandung

Der so übertragene Körperschall wird schliesslich als Luftschall ausserhalb der Kapselung abgestrahlt.

## 2.6 Weitere Begriffe

Im weiteren werden auch folgende Begriffe verwendet:

$f$  = Frequenz [Hz]

$c$  = Schallgeschwindigkeit [m/s], in Luft  
bei 20° C:  $c = 340$  m/s

$\lambda$  = Wellenlänge [m]

$L_W$  = Schalleistungspegel [dB]

$L_{WA}$  = A-bewerteter Schalleistungspegel [dB]

$T$  = Nachhallzeit [s], Mass für die Halligkeit

$S$  = Fläche [m<sup>2</sup>]

$A$  = Schallabsorptionsfläche [m<sup>2</sup>]

## 2.7 Zusammenfassung

Zu einer guten Kapselung gehören eine angepasste Luftschalldämmung, eine wirkungsvolle Schallabsorption an der Innenseite, möglichst kleine Öffnungen und eine auf die Verhältnisse abgestimmte Körperschalldämmung (siehe Bild 4).


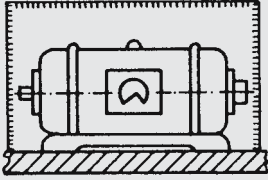
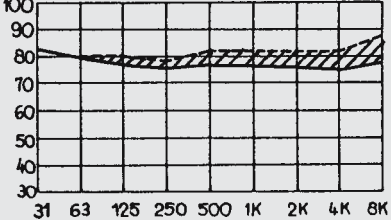
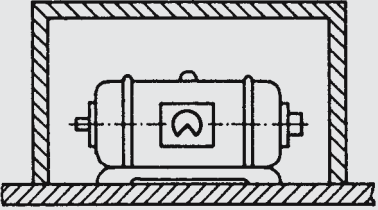
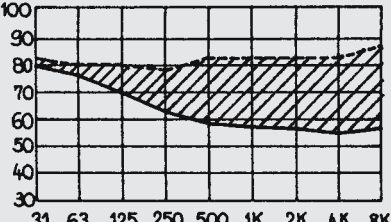
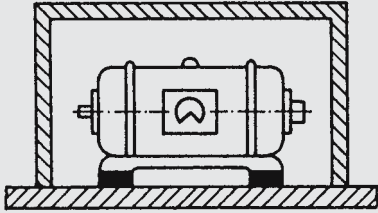
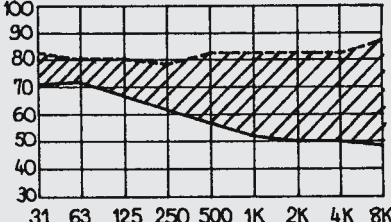
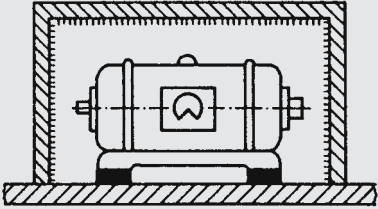
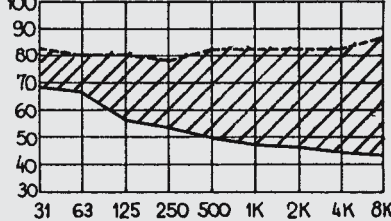
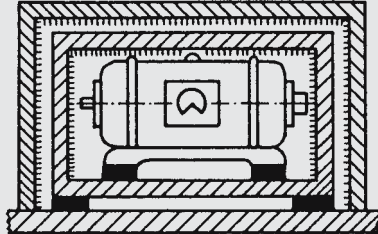
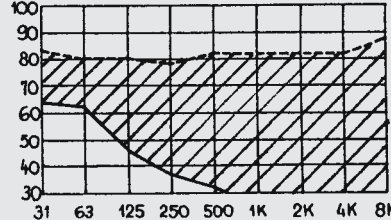
	Massnahmen	Wirkung 
	Sehr leichte Kapselung aus Schaumgummi (ca. 2 kg/m <sup>2</sup> )	
	Einschalige Kapselung ohne Absorption	
	Zusätzliche Körperschalldämmung des E-Motors	
	Zusätzliche Schallabsorption Kapselinnenseite	
	Maximalvariante! Doppelte Kapselung und doppelt elastische Lagerung des E-Motors	

Bild 4: Verschiedene Arten von Kapselkonstruktionen und deren Wirkung bei einem Elektromotor.



# 3 Anforderungen an Kapselungen

## 3.1 Allgemeine Anforderungen

Bei der Konstruktion einer Kapselung ist auf folgende Punkte zu achten:

- Hinreichende, den Verhältnissen angepasste Luftschalldämmung des Kapselmaterials
- Wirksam absorbierende Auskleidung (unbrennbar, widerstandsfähig, nicht fasernd, lässt sich allenfalls reinigen)
- Schalltechnisch dichte Konstruktion (Dichtungen bei Klappen und Türen)
- Schalldämpfer bei Materialzu- und -wegführung
- Keine Körperschall- oder Schwingungsübertragungen von der zu kapselnden Maschine auf die Kapselung
- Prüfen, ob die zu kapselnde Maschine auf Schwingungsdämmelementen gelagert ist oder allenfalls gelagert werden soll
- Leicht bedienbare Türen und Klappen, evtl. Schliesshilfen
- Zuverlässige Wärmeabfuhr (Energiebilanz aufstellen, Beleuchtung nicht vergessen)
- Gute Beleuchtung des Arbeitsbereiches (Leuchtstoff- oder Halogenlampen)
- Überwachungsmöglichkeit der Maschine im geschlossenen Zustand der Kapselung (Fenster, TV-Kamera)
- Optimale Bedienbarkeit der gekapselten Maschine oder Anlage für eine möglichst geringe Leistungseinbusse
- Einfache Wartung (z. B. leicht demontierbar, aufklappbar, mit Kran abhebbar, problemloser Ersatz defekter Teile usw.)
- Sicherheitsgerechte Konstruktion

Und ausserdem:

- Seien Sie mutig bei der Farbgebung; es muss ja nicht immer Standardgau oder -grün sein!
- Machen Sie einen Kostenvergleich: Stellen Sie der Kostenberechnung für einen Eigenbau auch die Offerte einer Spezialfirma gegenüber.

## 3.2 Schalltechnische Anforderungen

Nebst allgemeinen Anforderungen wie Dichtigkeit usw. gibt es spezielle schalltechnische Anforderungen, die an das Kapselmaterial gestellt werden. Zwei dieser speziellen Anforderungen sollen herausgegriffen werden: die Schalldämmung und die Schallabsorption. Es soll auch gezeigt werden, wie gross die Wirksamkeit einer Kapselung sein muss.

### 3.2.1 Wirksamkeit einer Kapselung

Von einer Kapselung können auch bei bestmöglicher Konstruktion keine akustischen Wunder erwartet werden. Die Angaben in Tabelle 2 sind Erfahrungswerte für das Einfügungsdämmmass  $D_{pA}$ .

Die in Tabelle 2 aufgeführten Werte dürfen keinesfalls unterschritten werden.

Hauptsächlicher Frequenzbereich der Lärmquelle*	Einführungsdämm-Mass $D_{pA}$ für Vollkapselungen		
	Kleine Maschinen	Mittlere Maschinen	Grosse Maschinen und Anlagen
tief	15 dB	10 dB	5–10 dB
mittel	20–25 dB	15–20 dB	10–20 dB
hoch	25–40 dB	10–30 dB	15–25 dB
	Teilkapselung		
tief	0	0	0
mittel	5 dB	5 dB	5 dB
hoch	10 dB	5–10 dB	5 dB

Tabelle 2: Erfahrungswerte für das Einfügungsdämm-Mass  $D_{pA}$ .

\* tief: 125 bis 500 Hz  
 mittel: 1'000 bis 2'000 Hz  
 hoch: > 4'000 Hz

### 3.2.2 Schalldämmung

In den meisten Fällen dürfte es genügen, für eine Kapselung Material mit einem bewerteten Bauschalldämm-Mass von  $R'_w = 25\text{--}30$  dB zu verwenden. Sind vor allem tiefe Frequenzen durch eine Kapselung zu reduzieren (z. B. bei Transformatoren), müssen Elemente mit entsprechender Schalldämmung verwendet werden. Unter Ziffer 4 werden praktische Lösungsvorschläge dargestellt.

Die meisten Hersteller von Kapselungen können das bewertete Bauschalldämm-Mass für ihre Produkte angeben.

### 3.2.3 Schallabsorption

Bei einer Kapselung ist es besonders wichtig, dass die dem Lärm zugewandte Innenseite schallabsorbierend ausgeführt wird. Hierbei soll der mittlere Absorptionsgrad  $\bar{\alpha}_s \geq 0,8$  betragen. Sind ausschliesslich hohe Frequenzen zu reduzieren (z. B. Ultraschallanlagen), genügt es, wenn dieser Wert ab etwa 1000 Hz erfüllt wird (kleinere Schichtdicken möglich). Auch hierzu werden unter Ziffer 4 Lösungsvorschläge aufgezeigt.

In Tabelle 3 werden die Absorptionsgrade einiger Materialien angegeben.

Material	Absorptionsgrad $\bar{\alpha}_s$ bei der Frequenz Hz						$\bar{\alpha}_s$
	125	250	500	1000	2000	4000	
50 mm Steinwolleplatten, 85 kg/m <sup>3</sup> (z. B. Flumroc)	0,18	0,77	1,01	1,04	0,97	0,97	0,82
50 mm Glasfaserplatten, 55 kg/m <sup>3</sup> (z. B. Isover)	0,22	0,83	1,06	1,02	0,98	0,95	0,81
30 mm offenporige Schaumstoffplatten, 30 kg/m <sup>3</sup> , strukturierte Oberfläche (z. B. pinta acoustic, Nauer, Sigerist)	0,15	0,31	0,73	1,05	0,88	0,97	0,68

Tabelle 3: Absorptionsgrade  $\bar{\alpha}_s$ .

# 4 Konstruktive Hinweise

## 4.1 Allgemeines

Der Wandaufbau einer Kapselung (siehe Bild 5) ist in seinen Grundzügen immer gleich.

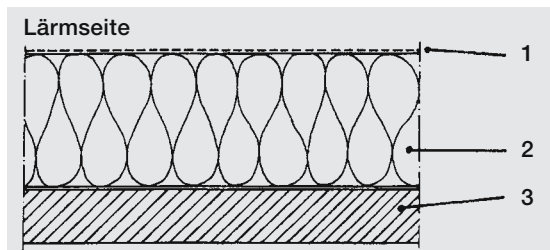


Bild 5: Prinzipieller Wandaufbau einer Kapselung.

- 1 Abdeckung des Absorptionsmaterials (Lochblech, Streckmetall usw.)
- 2 Absorptionsmaterial
- 3 Trägerplatte und Material für die Schalldämmung

Die Trägerplatte kann aus folgenden Materialien ausgeführt werden:

- Einfachblech oder Holzplatte
- Mehrschichtblech
- Verbundblech
- Einfachblech mit schwerer, biegeweicher Dämmschicht (z. B. Bleifolie)
- Einfachblech mit Entdröhnbelag

Um hohe Dämmwerte zu erzielen, muss ein zweischaliger Wandaufbau gewählt werden (siehe Bild 6).

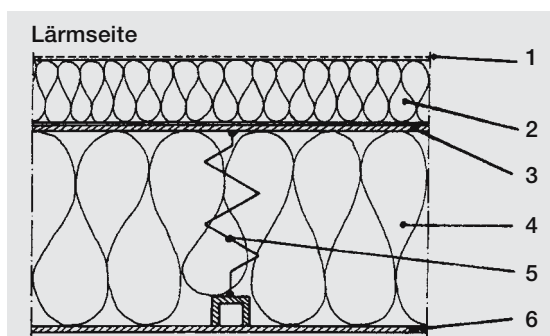


Bild 6: Prinzipieller zweischaliger Wandaufbau.

- 1 Abdeckung des Absorptionsmaterials
- 2 Absorptionsmaterial
- 3 Innenwand
- 4 Absorptionsmaterial
- 5 Elastische Verbindungselemente
- 6 Aussenwand

## 4.2 Konstruktionsmerkmale

In Tabelle 4 sind die Konstruktionsmerkmale verschiedener Kapselkonstruktionen zusammengestellt.

Nr.	Wandaufbau	kg/m <sup>2</sup> 1)	Zulässiger freier Querschnitt S <sub>f</sub> 2)	Körperschalldämmung der Schallquelle 3)	D <sub>pA</sub> dB(A)
1	Einschalig, ohne Absorption	5–15	< 5 %	Keine oder einfache Lagerung	5–15
2	Einschalig, mit Absorption	5–15	< 0,5 %	Einfache elastische Lagerung	7–25
3	Einschalig, mit Absorption	20–25	< 0,1 %	Einfache elastische Lagerung	10–30
4	Zweischalig, mit Absorption, oder schwere einschalige Kapsel, gemauert	10–20	< 0,01 %	Doppelt elastische Lagerung oder einfache Lagerung mit Fundamenttrennung	20–40
5	Zweischalig, mit Absorption, oder schwere einschalige Kapsel, gemauert	20–30	Möglichst vermeiden	wie Nr. 4	30–50

Tabelle 4: Konstruktionsmerkmale verschiedener Kapselkonstruktionen.

1) Flächengewicht ohne Tragkonstruktion, schallabsorbierende Auskleidung und Abdeckung

2) Ohne Öffnungen mit Schalldämpfern (z. B. für Belüftung)

3) Nicht notwendige Massnahmen, falls es nur um Strömungsgeräusche geht

### 4.3 Festlegung der Abmessungen

Der Abstand zwischen der Schallquelle und der Kapselwand hängt im Wesentlichen von den folgenden Faktoren ab:

- Einfügungsdämm-Mass bei tiefen Frequenzen
- Vermeidung von Körperschallübertragungen auf die Kapselwand
- Anforderungen an die Wartung und Zugänglichkeit

Zur Vermeidung von Resonanzen zwischen Schallquelle und Kapselwand muss der Mindestabstand  $d$  wie folgt festgelegt werden:

$$d \geq \frac{10^7}{g \cdot f^2} \text{ [mm]} \quad \text{[GL 2]}$$

$g$  = Flächengewicht der Kapselwand [kg/m<sup>2</sup>]  
 $f$  = niedrigste Frequenz, für die noch eine Anforderung für das Einfügungsdämm-Mass aufgestellt werden kann [Hz]

Beispiel

Kapselwand mit  $g = 20 \text{ kg/m}^2$ ,  $f$  sei 63 Hz

Somit wird

$$d \geq \frac{10^7}{20 \cdot 63^2} = 126 \text{ mm}$$

### 4.4 Entdröhnen

Werden Stahlbleche als Kapselmaterial verwendet, muss häufig eine Entdröhnung vorgenommen werden, damit keine Erhöhung der Schallabstrahlung eintritt. Mögliche Massnahmen sind:

- Auftragen von Entdröhnungsbelägen in ungefähr zweifacher Blechdicke (Folien, Spritzmassen). Dadurch wird auch die Luftschalldämmung erhöht (Zunahme der wirkenden Masse)
- Einsatz von Verbundblechen
- Ganzflächiges Verkleben mit Absorptionsmaterial
- Einsatz von Mehrschichtblechen (vor allem bei höheren Temperaturen)

### 4.5 Schallabsorbierende Auskleidung

Als Material für die schallabsorbierende Auskleidung eignen sich Mineralwolleplatten (Stein- oder Glasfaserplatten) sowie spezielle offene-porige Schaumstoffplatten. Die Dicke der Absorptionsschicht muss umso grösser sein, je niedriger die Frequenz des zu dämmenden Geräusches ist. Allgemein wählt man Schichtdicken zwischen 50 und 100 mm, keinesfalls aber unter 30 mm.

Je nach Anwendungsbereich muss ein unbrennbares Material ausgewählt werden (z. B. keine Schaumstoffplatten in Holzverarbeitenden Betrieben oder in Bereichen, in denen hohe Temperaturen auftreten können). Auch auf Ölbeständigkeit muss geachtet werden, insbesondere bei der Metallverarbeitung (z. B. Stanzautomaten).

### 4.6 Abdeckung des Absorptionsmaterials

Zum Schutz vor mechanischer Beschädigung wird das Absorptionsmaterial meist mit einem Lochblech (0,5–1,5 mm dick) aus Stahl oder Aluminium abgedeckt. Der Lochflächenanteil sollte mindestens 25 % betragen. Für gewisse Fälle eignen sich auch Streckmetall oder Drahtgeflecht. Schaumstoffplatten, vor allem in kleineren nicht begehbaren Kapseln, brauchen keine Abdeckung. Zum Schutz des Absorptionsmaterials vor Verschmutzung oder Herausfallen wird üblicherweise ein Faservlies oder ein Glasfasergewebe montiert (direkt hinter der Abdeckung). Muss das Eindringen von Öl oder Feuchtigkeit verhindert werden, ist das Absorptionsmaterial mit einer Kunststoff-Folie (10–20 µm dick) einzupacken.

### 4.7 Versteifung des Kapselaufbaus

Zur Versteifung der Kapselwand und allenfalls zur Formgebung (Tragkonstruktion) soll die aussen liegende Schicht auf einen Rahmen aufgeschraubt, vernietet oder geschweisst werden. Der Abstand zwischen den einzelnen Versteifungselementen soll etwa 500 mm betragen. Als Randabschluss eignen sich Konstruktionen, wie sie in Bild 7 dargestellt sind.

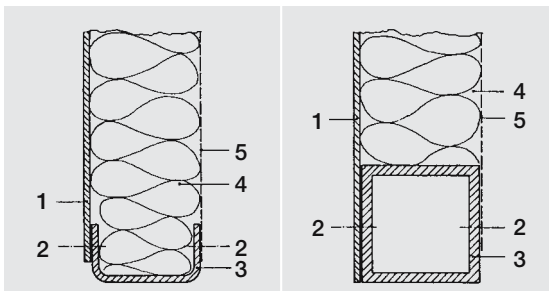


Bild 7: Beispiele für Randabschlüsse.

- 1 Aussenwand
- 2 Blindniete oder Schraube
- 3 Randabschluss
- 4 Absorptionsmaterial
- 5 Abdeckung

## 4.8 Öffnungen und Dichtungen

Grundsätzlich soll bei der Planung einer Kapselung versucht werden, die Zahl der Öffnungen und Undichtigkeiten so klein wie möglich zu halten. Bedienungs- und Überwachungselemente sollten ausserhalb der Kapselung angebracht werden, damit eine Begehung derselben entfällt.

### 4.8.1 Belüftungs- und Entlüftungsöffnungen

Vor Belüftungs- und Entlüftungsöffnungen müssen Schalldämpfer montiert werden, die das gleiche Einfügungsdämm-Mass aufweisen wie die Kapselung selber. Die einfachste Lösung sind Schalldämpfer in Form von absorbierend ausgekleideten Kanälen. Bild 8 zeigt an einem Beispiel, wie Belüftungs- und Entlüftungsöffnungen gestaltet werden können.

### 4.8.2 Öffnungen für Materialzufuhr und -entnahme

Bandmaterial kann z. B. durch einen mit Filz abgedichteten Schlitz zugeführt werden. Einzelne Teile lassen sich durch einen Kanal einführen, der als Schalldämpfer ausgebildet ist (siehe Bild 9). Allenfalls können kleine Vorhänge aus Bleigummimatten eingesetzt werden. Es besteht auch die Möglichkeit, mit dem lärmintensiven Bearbeitungsvorgang erst dann zu beginnen, wenn die Kapselung nach der Materialzufuhr wieder vollständig geschlossen ist (Beispiel: Gekapselte Ultraschallschweiss- und Trovalanlagen).

Für Kanäle nach Bild 9 genügt in der Praxis meist ein ca. 2 mm dickes Blech oder eine 20 mm dicke Spanplatte. Die Absorptionsschicht soll 20–40 mm dick sein (Mineralfasern oder offenerporiger Schaumstoff). Die Länge eines solchen Kanals soll 300–500 mm betragen.

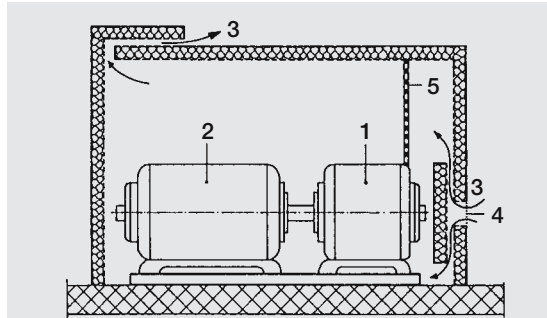


Bild 8: Belüftung und Entlüftung am Beispiel einer gekapselten Umformergruppe (Zwangsbelüftung durch den Ventilator des Elektromotors).

- 1 Elektromotor
- 2 Generator
- 3 Schalldämpfte Zuluft- bzw. Abluftkanäle
- 4 Schutzgitter gegen Fremdkörper
- 5 Trennwand

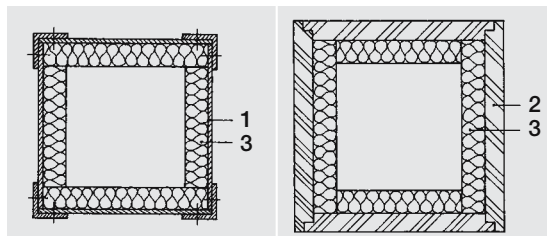


Bild 9: Absorbierend ausgekleidete Kanäle für Materialzufuhr oder -entnahme.

- 1 Stahl- oder Aluminiumblech
- 2 Spanplatten
- 3 Absorptionsschicht



#### 4.8.3 Abdichtung beim Übergang zwischen Kapselwand und angrenzenden Bauteilen

Voraussetzung für die gute Wirksamkeit einer Kapselung ist eine einwandfreie Dichtung zwischen allen aneinander grenzenden Bauteilen. In den meisten Fällen geht es vor allem um die Aufstellfläche, also um den Übergang von der Kapselung zum Boden. Das in Bild 10 dargestellte weiche Gummielement (3) kann in zwei Ausführungen empfohlen werden:

- Moosgummistreifen mit einer Dicke von etwa 10 mm und einer Breite, die sich aus einer zulässigen Belastung von etwa  $5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$  ergibt (Kapselgewicht berechnen!);
- Weichgummistreifen mit einer Shore-Härte von zirka 45 bis 55, einer Dicke von 10 mm und einer Breite, die sich aus einer zulässigen Belastung von etwa  $30 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$  ergibt.

Für fahrbare Kapseln sind spezielle Konstruktionen erforderlich (z.B. Spaltabsorber, eingelassene Führungsschienen usw.).

#### 4.8.4 Türen, Fenster und Klappen

Türen, Fenster und Klappen müssen die gleiche Schalldämmung wie die Kapselwand aufweisen. Wichtig ist der Einbau von einwandfrei abschliessenden Profildichtungen. Bei ein-

schaligen Kapselwänden genügt meist auch eine Einfachverglasung mit gleichem Flächen-gewicht (Glas ist genau 3-mal leichter als Stahl; bei einem 2 mm Stahlblech als Kapselwand genügt demzufolge eine 6 mm dicke Glas-scheibe). Je nach Zweck und Standort der Kapselung kann der Einsatz von Sicherheits-glas zweckmässig sein. Acrylglas eignet sich nur dann, wenn es als Doppelverglasung ein-gesetzt wird (die Dichte von Acrylglas ist etwa 7-mal kleiner als diejenige von Stahl). Bild 11 zeigt Möglichkeiten, wie Fenster in die Kapse-lung eingebaut werden können.

#### 4.9 Prototypen und Teilkapselungen

Weist eine projektierte Kapselung verschiedene Öffnungen auf oder ist mit nicht genau erfass-baren Körperschallanteilen zu rechnen, kann keine genaue Prognose über das Einfügungs-dämm-Mass gemacht werden. Das Gleiche gilt für Teilkapselungen, bei denen Vorhersagen über die Wirksamkeit noch problematischer sind. Besteht die Absicht, eine grössere Anzahl Voll- oder Teilkapselungen in einer dieser Vari-anten zu bauen, hilft nur ein Prototyp weiter. Dieser kann dann konstruktiv so optimiert werden, bis er das Maximum an Wirksamkeit bei noch vertretbarem Aufwand erreicht (opti-male Kostenwirksamkeit).

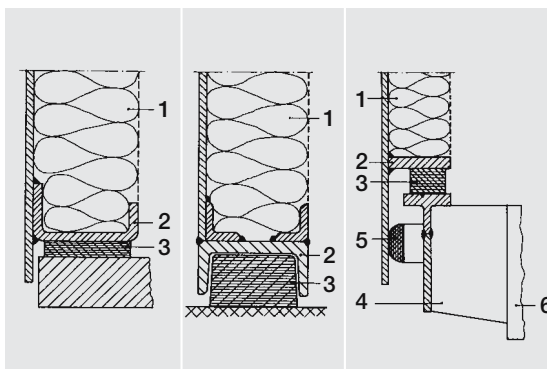


Bild 10: Beispiele für eine dichte und körperschall-dämmende Aufstellung der Kapsel.

- 1 Kapselwand
- 2 Auflageplatte
- 3 Weiches Gummielement
- 4 Konsolenkonstruktion
- 5 Gummielement zur Lagerung
- 6 Grundrahmen

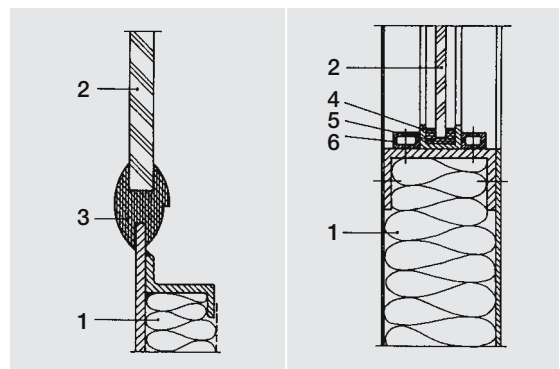


Bild 11: Möglichkeiten für den Einbau von Fenstern (Einfachverglasung) in die Kapselung.

- 1 Kapselwandung
- 2 Glasscheibe aus mehrschichtigem Glas oder Sicherheitsglas
- 3 Profilgummi, evtl. mit zusätzlicher Dichtungsschnur
- 4 U-Profile als Glashalter
- 5 Dauerelastischer Kitt
- 6 Glasleiste (geschraubt)

## 5 Ausführungsbeispiele Kapselwandung

### 5.1 Spezialfirmen

Es gibt eine ganze Reihe von Spezialfirmen, die sich mit dem Bau von Kapselungen befassen (siehe Spezialfirmenverzeichnis der Suva, Best.-Nr. 86022). Diese Firmen haben zum Teil ausgeklügelte Systeme mit einem hohen Einfügungsdämm-Mass entwickelt. Davon soll hier aber nicht die Rede sein, sondern von einigen einfachen, selber realisierbaren Lösungen.

### 5.2 Einschaliger Wandaufbau

Der einschalige Wandaufbau hat einen akustisch bedingten oberen Grenzwert für das Flächengewicht von etwa  $25 \text{ kg/m}^2$ . Höhere Dämmwerte sind mit zweischaligen Konstruktionen zu realisieren (siehe Ziffer 5.3). Hier nun einige Beispiele (Achtung: Angegeben wird das bewertete Bauschalldämm-Mass  $R'_w$ , da das Einfügungsdämm-Mass  $D_{pA}$  – wie bereits erwähnt – von zu vielen Einflussfaktoren abhängt).

#### Beurteilung

Mit allen Varianten lässt sich ein Bauschalldämm-Mass  $R'_w$  von mindestens 25 dB erreichen. Die Varianten mit höherem Flächengewicht ergeben, insbesondere bei tiefen Frequenzen, eine wesentlich bessere Schalldämmung. Holzwerkstoffe haben – je nach Dicke – einen Dämmverlust von bis zu 5 dB bei 1'000 bis 2'000 Hz.

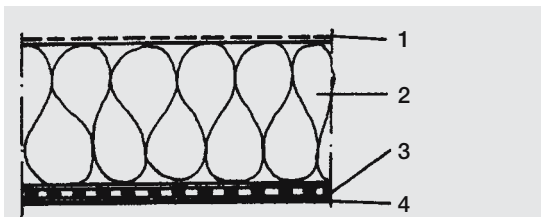


Bild 12: Variante 1

- 1 1 mm Lochblech (Lochanteil 25%)
- 2 50 mm Steinwolleplatten ( $100 \text{ kg/m}^3$ )
- 3 3 mm Antidröhnmatte
- 4 1,5 mm Stahlblech

Flächengewicht ca.  $25 \text{ kg/m}^2$ ,  $R'_w = \text{ca. } 35 \text{ dB}$

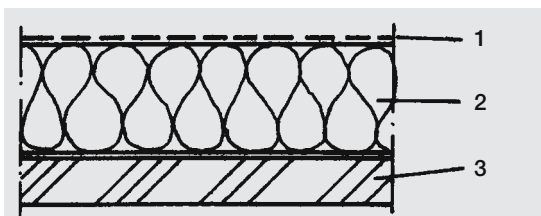


Bild 13: Variante 2

- 1 Streckmetall
- 2 50 mm Glaswolleplatten ( $55 \text{ kg/m}^3$ )
- 3 25 mm Spanplatte

Flächengewicht ca.  $20 \text{ kg/m}^2$ ,  $R'_w = \text{ca. } 25 \text{ dB}$

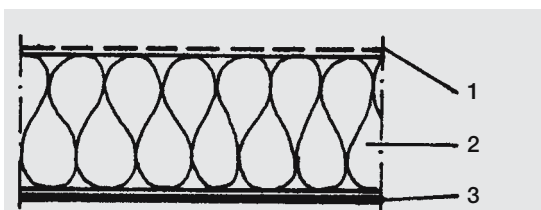


Bild 14: Variante 3

- 1 1 mm Aluminium-Lochblech (Lochanteil 25%)
- 2 50 mm Steinwolleplatten ( $100 \text{ kg/m}^3$ )
- 3 3 mm Aluminiumblech

Flächengewicht ca.  $14 \text{ kg/m}^2$ ,  $R'_w = \text{ca. } 30 \text{ dB}$

Zusätzlich mit 5 mm gespritztem Antidröhn:

$R'_w = \text{ca. } 34 \text{ dB}$

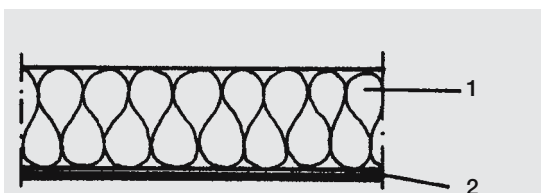


Bild 15: Variante 4

- 1 30 mm Schaumstoff (z. B. mit Waffelstruktur)
- 2 2 mm Aluminiumblech

Flächengewicht ca.  $6 \text{ kg/m}^2$ ,  $R'_w = \text{ca. } 25 \text{ dB}$

ab 2 000 Hz:  $R'_w = 40 \text{ dB}$

(geeignet für Ultraschall-Lärmquellen)

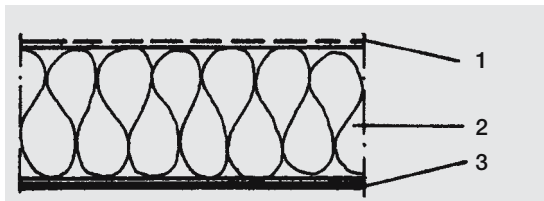


Bild 16: Variante 5

- 1 1,5 mm Lochblech (Lochanteil 25 %)
  - 2 75 mm Glaswolleplatten (55 kg/m<sup>3</sup>)
  - 3 3 mm Stahlblech
- Flächengewicht ca. 36 kg/m<sup>2</sup>, R'<sub>w</sub> = ca. 40 dB

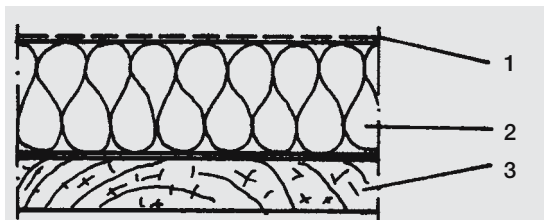


Bild 17: Variante 6

- 1 Streckmetall
  - 2 60 mm Steinwolleplatten (100 kg/m<sup>3</sup>)
  - 3 40 mm Tannenholz mit Nut und Kamm
- Flächengewicht ca. 28 kg/m<sup>2</sup>, R'<sub>w</sub> = ca. 28 dB

### 5.3 Zweischaliger Wandaufbau

Da zweischalige Konstruktionen eher selten Anwendung finden (Haupttätigkeitsgebiet von Spezialfirmen), beschränken wir uns auf zwei Beispiele.

#### Beurteilung

Zur Vermeidung von Frequenzeinbrüchen im Dämmverlauf sind die Blechstärken unterschiedlich festgelegt. Zweischalige Wandaufbauten sind relativ dick, brauchen sie doch mindestens 100 mm Platz. Sie sollen nur dort eingesetzt werden, wo sehr hohe Ansprüche an das Einfügungsdämm-Mass gestellt werden und eine schalldichte Konstruktion ohne grosse Öffnungen möglich ist (siehe Ziffer 2.4).

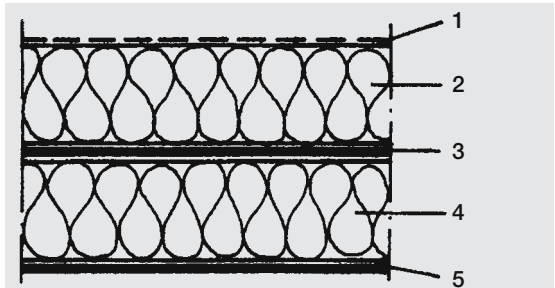


Bild 18: Variante 1

- 1 1 mm Lochblech (Lochanteil 25 %)
  - 2 50 mm Steinwolleplatten (100 kg/m<sup>3</sup>)
  - 3 1,5 mm Stahlblech
  - 4 50 mm Steinwolleplatten (60 kg/m<sup>3</sup>)
  - 5 3 mm Stahlblech
- Flächengewicht ca. 50 kg/m<sup>2</sup>, R'<sub>w</sub> = 45–50 dB

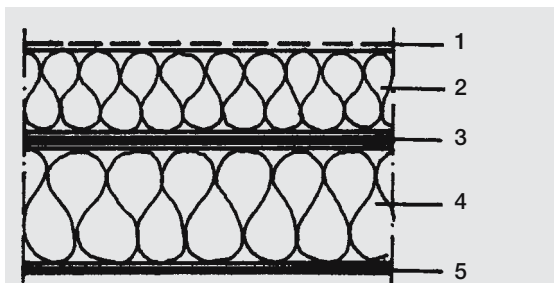


Bild 19: Variante 2

- 1 1,5 mm Aluminium-Lochblech (Lochanteil 25 %)
  - 2 40 mm Glaswolleplatten (55 kg/m<sup>3</sup>)
  - 3 2 mm Aluminiumblech
  - 4 60 mm Glaswolleplatten (55 kg/m<sup>3</sup>)
  - 5 3 mm Aluminiumblech
- Flächengewicht ca. 25 kg/m<sup>2</sup>, R'<sub>w</sub> = 40–45 dB

# 6 Berechnung einer Kapselung

## 6.1 Abschätzverfahren

Das Abschätzverfahren für die Wirksamkeit einer Kapselung beruht auf den in Tabelle 2 aufgeführten Erfahrungswerten (siehe Ziffer 3.2.1). Weitere Voraussetzungen sind: Das bewertete Bauschalldämm-Mass des Kapselmaterials muss bekannt und die Kapsel auf der Innenseite gut absorbierend ausgebildet sein.

### Variante 1

Liegt das Bauschalldämm-Mass  $R'_w$  im Bereiche von 25–30 dB, können für das Einfügungsdämm-Mass  $D_{pA}$  die in Tabelle 2 angegebenen Werte direkt übernommen werden.

### Variante 2

Ist als Quellenwert der Schalleistungspegel  $L_W$  bekannt, kann von  $L_W$  ein Abzug von 5 dB gemacht werden, damit man den Schalldruckpegel  $L_p$  in der Kapselung erhält. Wenn man weiter annimmt, dass die A-bewertete Schallpegelreduktion eines Kapselmaterials bei mittleren Frequenzen um etwa 5 dB kleiner ist als das bewertete Bauschalldämm-Mass  $R'_w$ , kann man so den ausserhalb der Kapselung wirksamen Schalldruckpegel  $L_p'$  abschätzen.

### Beispiel 1

Schalleistungspegel einer Schallquelle: $L_W = 100 \text{ dB(A)}$
Verwendetes Kapselmaterial: $R'_w = 30 \text{ dB}$
Schalldruckpegel $L_p$ ausserhalb der Kapselung: $L_p' = 100 - 5 - (30 - 5)$ $= 70 \text{ dB(A)}$

### Beispiel 2

Wie Beispiel 2 zeigt, kann das Verfahren auch umgekehrt werden:

1. Schalleistungspegel einer lärmintensiven Maschine: $L_W = 110 \text{ dB(A)}$
2. Schalldruckpegel in einer Kapselung: $L_p' = 105 \text{ dB(A)}$
3. Gewünschter Raumschallpegel: $L_p = 80 \text{ dB(A)}$
4. Differenz zwischen dem Schalldruckpegel innerhalb und ausserhalb der Kapselung: $L_p = 25 \text{ dB}$
5. Erforderliches bewertetes Bauschalldämm-Mass: $R'_w = 30 \text{ dB}$

## 6.2 Genaues Berechnungsverfahren

Beim genauen Berechnungsverfahren geht es darum, das erforderliche Einfügungsdämm-Mass  $D_{pA}$  zu bestimmen (in einer Oktavbandanalyse). Hierzu müssen aber bekannt sein:

- Schalleistung der Schallquelle (Oktavbandanalyse)
- Volumen des Raumes
- Nachhallzeiten des Raumes (evtl. geschätzt).

Auf die Schalleistung soll hier nicht näher eingegangen werden. Sie wird in der Publikation «Schallemissionsmessungen an Maschinen» (Suva-Best.-Nr. 66027) ausführlich beschrieben. Der ganze Berechnungsvorgang wird nun – zum besseren Verständnis – anhand eines Beispiels dargelegt.

### 6.2.1 Aufgabenstellung

Eine Umformerguppe soll gekapselt werden. Der Hersteller gibt die folgenden Schalleistungspegel  $L_{W,okt}$  an:

Frequenz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
$L_{W,okt}$	91	98	102	101	99	98	91	85	dB

Diese Werte ergeben  $L_{WA} = 104 \text{ dB}$

### Anforderung

An einem Arbeitsplatz in  $d = 5 \text{ m}$  Abstand darf der Schalldruckpegel  $L_p = 70 \text{ dB(A)}$  nicht überschreiten.

### Gesucht

Einfügungsdämm-Mass  $D_{pA}$  der Kapselung

### 6.2.2 Berechnungsgrundlagen

Der Schalleistungspegel muss vorerst in den Schalldruckpegel  $L_p$  am Immissionsort umgerechnet werden. Hierzu wird angenommen, dass sich die Schalleistung halbkugelförmig ausbreitet, d. h. die Hüllfläche  $S$  beträgt

$$S = 2 \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \pi \cdot 5^2 = 157 \text{ m}^2$$

Im Arbeitsraum, wo die Umformergruppe aufgestellt werden soll, werden die Nachhallzeiten mit 1 s angenommen (gute Akustikdecke ist vorhanden). Der Raum hat ein Volumen von  $V = 800 \text{ m}^3$ .

Das Schallschluckvermögen des Raumes beträgt nach Sabine

$$A = \frac{0,163 \cdot V}{T} = \frac{0,163 \cdot 800}{1} = 130 \text{ m}^2$$

In den einzelnen Oktavbändern wird nun der Schalldruckpegel  $L_{p, \text{okt}}$  am Arbeitsplatz ermittelt:

$$L_{p, \text{okt}} = L_{W, \text{okt}} - 10 \lg \frac{S}{1 + \frac{4S}{A}}$$

$$= L_{W, \text{okt}} - 10 \lg \frac{157}{1 + \frac{4 \cdot 157}{130}} = L_{W, \text{okt}} - 14$$

Frequenz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
$K_{\text{okt}}$	-17	-7	0	+6	+9	+10	+10	+8	dB

Tabelle 5: Korrekturwerte zur Umrechnung von  $L_p$  in  $L_{p, \text{okt}}$ .

Nr.	Bezeichnung	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
1	Schalleistungspegel nach Firmenangaben	91	98	102	101	99	98	91	85	dB
2	Korrektur für Schalldruckpegel am Immissionsort	-14 dB								
3	Schalldruckpegel am Immissionsort Arbeitsplatz	77	84	88	87	85	84	77	71	dB
4	Anforderungen am Arbeitsplatz	70 dB(A)								
5	Differenz zwischen Nr. 3 und Nr. 4	7	14	18	17	15	14	7	1	dB
6	$k_{\text{okt}}$ gemäss Ziffer 6.2.2, Tabelle 5	-17	-7	+0	+6	+9	+10	+10	+8	dB
7	<b>Erforderliches Einfügungsdämm-Mass <math>D_{\text{pa}}</math></b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>dB</b>

Tabelle 6: Berechnung des erforderlichen Einfügungsdämm-Masses  $D_{\text{pa}}$ .

Zwischen dem A-bewerteten Schalldruckpegel und den Oktavband-Schalldruckpegeln der Schallquelle besteht ein Zusammenhang, der hier mit Hilfe einer einfachen Korrektur berücksichtigt wird (Addition von 8 Oktavbändern und A-Korrektur). Diese Korrektur,  $k_{\text{okt}}$  wird zur Differenz  $L_{W, \text{okt}} - L_p$  addiert. In Tabelle 5 sind die Werte für  $k_{\text{okt}}$  angegeben:

### 6.2.3 Berechnung

Das gesuchte Einfügungsdämm-Mass  $D_{\text{pa}}$  kann nun mit Hilfe von Tabelle 6 berechnet werden:

### 6.2.4 Wahl der Kapselung

Um die geforderten Werte zu erreichen, ist eine Kapselung erforderlich mit Konstruktionsmerkmalen der Gruppe 3 unter Ziffer 4.2. Wie bereits erwähnt, gilt das Einfügungsdämm-Mass für die fertig installierte Kapselung, d. h. also mit Öffnungen für die Ventilation usw.

### 6.3 Zusammenfassung

Das genaue Berechnungsverfahren liefert präzise Angaben, wie sie beispielsweise in ein Pflichtenheft bei der Auftragserteilung übernommen werden können (Garantiewerte). Fehlen die notwendigen akustischen Daten, kann es genügen, für einen ausserhalb der Kapselung liegenden definierten Beurteilungspunkt einen maximal zulässigen Schalldruckpegel in dB(A) festzulegen und garantieren zu lassen. Die entsprechenden Berechnungen müssen dann vom Auftragnehmer durchgeführt werden.



# 7 Kosten-Nutzen-Überlegungen

## 7.1 Allgemeines

Aufwendungen für Schallschutzmassnahmen – und dazu gehören auch die Kapselungen – bringen rein kommerziell keine Erhöhung der Produktivität. Durch bestimmte technische Massnahmen kann die Produktequalität angehoben werden, aber dies ist sicher die Ausnahme. Kapselungen bringen demzufolge «nur» eine Verbesserung der Arbeitsplatzqualität in Form einer Lärmreduktion. Da die Leistungsbereitschaft und die Leistungsfähigkeit der Arbeitnehmer auch durch die Lärmsituation beeinflusst wird, haben Schallschutzmassnahmen einen indirekten Einfluss auf die Produktivität. Unter diesem Aspekt betrachtet, haben Kapselungen als wirkungsvolle Schallschutzmassnahme ganz sicher ihre Berechtigung.

## 7.2 Erfahrungswert

Kapselungen sind relativ teuer, aber auch sehr wirksam. Es fragt sich nun, wo die Investitionsgrenze für Kapselungen liegt. Diese Frage muss von Fall zu Fall beantwortet werden. Der Investitionsbedarf für die Kapselung ist nämlich bei einer grossen Rollenoffsetdruckmaschine wesentlich höher als bei einer Hydraulikpumpe. Der Unterschied kann Zehntausende von Franken betragen.

Die Suva hat auf Grund ihrer langjährigen Erfahrung auf diesem Gebiet eine Kosten-Nutzen-Berechnung entwickelt, die sich bewährt hat. Man braucht dazu folgende Angaben:

- die Wirkung der Kapselung in dB(A), Mittelwert,
- den Aufwand in Franken und
- die Anzahl der Arbeitnehmer, die von der Wirkung profitieren.

Mit Hilfe dieser drei Grössen wird der Kosten-Nutzen-Faktor **Aufwand in Franken pro Dezibel und Arbeitsplatz** berechnet. Gemäss den Erfahrungen der Suva sollte eine Grenze von etwa CHF 1500.– nicht überschritten werden. In den Beispielen in Kapitel 8 wird der Kosten-Nutzen-Faktor meistens angegeben.

In extremen Fällen kostet eine Kapselung praktisch gleichviel wie die zu kapselnde Anlage. Dieser Fall kann beispielsweise bei einer Ultraschallschweissmaschine eintreffen. Allerdings kann auch hier, wie das Beispiel unter Ziff. 8.1.3 zeigt, ein beachtenswerter Kosten-Nutzen-Faktor erreicht werden.

# 8 Beispiele

Aus einer Vielzahl von realisierten Lösungen sollen einige repräsentative Beispiele herausgegriffen werden. Dass die Planer der Kapselungen nicht immer eine glückliche Hand hatten, wird durch die Unterscheidung in gute und unbefriedigende Beispiele deutlich.

## 8.1 Gute Beispiele

### 8.1.1 Kunststoffmühle

Eine grosse Kunststoffmühle, in der ausschliesslich gebrauchte Getränkeharassen gemahlen werden, sollte gekapselt werden. Bild 20 zeigt die realisierte Lösung.



Bild 20: Kunststoffmühle für gebrauchte Getränkeharassen. Das Förderband für den Transport des Mahlgutes (rechts) ist als Schalldämpfer ausgebildet. Das entstandene Granulat wird über eine Rohrleitung abgesaugt. Die Kapselung besteht aussen aus 1,5 mm dickem Stahlblech, innen aus 50 mm Mineralwolle und Lochblech.

Das Einfügungsdämm-Mass beträgt:

$D_{pA} = 22 \text{ dB(A)}$

Anzahl geschützte Arbeitsplätze:

1

Kosten:

CHF 16'500.–

Kosten-Nutzen-Faktor:

CHF 750.– pro dB und Arbeitsplatz

## Beurteilung

Sehr wirksame Massnahme, konnte doch der Raumschallpegel auf 82 dB(A) reduziert werden. Persönliche Gehörschutzmittel sind somit nicht mehr erforderlich.

### 8.1.2 Schraubenverpackungsanlage

In einem Handelsbetrieb werden Schrauben aus Holzkisten in verkaufsfertige Kartonschachteln abgefüllt. Mit einem Schrägaufzug werden die gefüllten Kisten in eine Blechmulde gekippt, von wo die Schrauben über einen Vibrationsförderer durch einen oben angeschweissten Trichter in einen senkrechten Blechkanal gelangen. Dann fallen sie, durch ein Magnetfeld in ihrer Lage gerichtet, in die Kartonschachteln. Vor dem Bau der Kapselung wurde am Arbeitsplatz unmittelbar neben der Anlage durchschnittlich ein Schalldruckpegel von  $L_m = 102 \text{ dB(A)}$  ermittelt [Spitzenwerte bis 118 dB(A)]. In Bild 21 ist die Kapselung dargestellt.

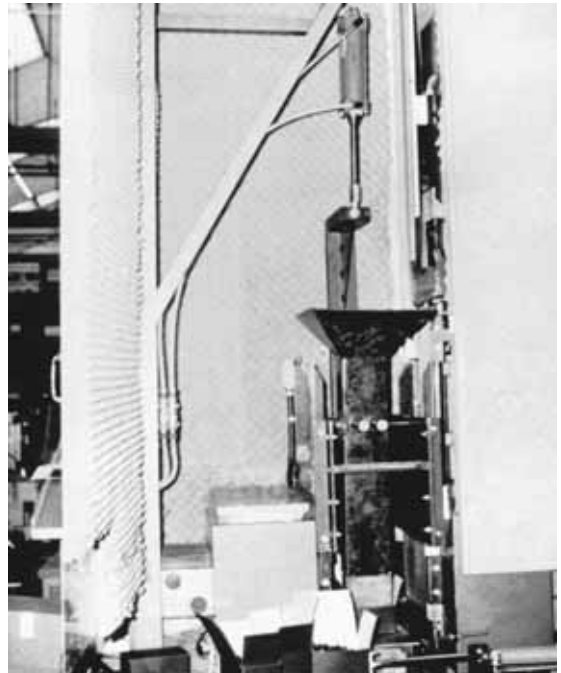


Bild 21: Geöffnete Kapselung bei einer Schraubenverpackungsanlage. In der Bildmitte ist der Einfülltrichter erkennbar. Damit die Anlage bei geschlossener Kapselung betrieben werden kann, werden die gefüllten Schachteln pneumatisch zur Seite gestossen, automatisch geschlossen und etikettiert.

Die Kapselung ist eine Holzkonstruktion, die aussen aus einer 25 mm dicken Spanplatte, innen aus einer 45 mm dicken Schaumstoffplatte mit Waffelstruktur besteht (Hauptlärmannteile zwischen 1'000 und 4'000 Hz).

Das Einfügungsdämm-Mass beträgt:	$D_{pA} = 18 \text{ dB(A)}$
Anzahl geschützte Arbeitsplätze:	12
Kosten:	CHF 32'000.–
Kosten-Nutzen-Faktor:	CHF 148.– pro dB und Arbeitsplatz

### Beurteilung

Die recht hohen Aufwendungen, in denen auch die Kosten für den Umbau der ganzen Anlage enthalten sind, bringen eine deutliche Lärmreduktion auf 84 dB(A) am lautesten Arbeitsplatz. Der Kosten-Nutzen-Faktor liegt hier besonders günstig.

### 8.1.3 Ultraschallschweissmaschine

Ultraschallschweissmaschinen lassen sich – wie die Bilder 22 und 23 zeigen – mit vorgefertigten Kabinen ohne grosse Probleme kapseln.



Bild 22: Gekapselte Ultraschallschweissmaschine (Türe der Kapselung geschlossen).



Bild 23: Gekapselte Ultraschallschweissmaschine (Türe der Kapselung geöffnet).

Die hochfrequenten Lärmanteile lassen sich mit relativ einfachen Konstruktionen massiv reduzieren. Im vorliegenden Fall wurde aussen ein 2 mm dickes Aluminiumblech verwendet, das innen mit faserstoffhinterlegten Formteilen Idikell B 201 verkleidet ist. Das Einfügungsdämm-Mass beträgt:  $D_{pA} = 28 \text{ dB(A)}$ .

Bei der Arbeitsfrequenz von 22 kHz (gleichzeitig Maximum in der Frequenzanalyse) konnte der Schallpegel von 126 auf 84 dB, also um 42 dB reduziert werden.

Anzahl geschützte Arbeitsplätze:	1
Kosten:	CHF 7'200.–
Kosten-Nutzen-Faktor:	CHF 257.– pro dB und Arbeitsplatz

### Beurteilung

Sehr wirksame Massnahme, keine Gehörschutzmittel mehr erforderlich.  
Nachteil: Leistungsreduktion (bis 20 %, je nach Produkt, das hergestellt wird).

### 8.1.4 Falzapparat an Rotationsdruckmaschine

Der Falzapparat an einer Rotationsdruckmaschine ist verhältnismässig lärmintensiv und beeinflusst massgeblich den Schalldruckpegel in einer Druckerei. Es braucht recht grosse Kabinen, um den Lärm wirksam reduzieren zu können (siehe Bild 24).



Bild 24: Teilansicht der Kapselung des Falzapparates an einer Rotationsmaschine: Links das Steuerpult, rechts das Förderband, auf dem die gefalteten Zeitschriften die Kapselung verlassen.

Die Kapselung ist als Stahlkonstruktion ausgeführt, wobei aussen ein 2 mm dickes Blech montiert wurde. Als Abdeckung der 80 mm dicken Mineralwollschicht dient ein Lochblech.

Das Einfügungsdämm-Mass beträgt:	$D_{pA} = 18 \text{ dB(A)}$
Anzahl geschützte Arbeitsplätze:	5
Kosten:	CHF 160'000.–
Kosten-Nutzen-Faktor:	CHF 1'778.– pro dB und Arbeitsplatz

#### Beurteilung

Die Lärmreduktion von 103 auf 85 dB(A) ist bemerkenswert, sind doch verschiedene funktionell bedingte Öffnungen vorhanden. Zudem ist die gesamte Oberfläche recht gross (etwa 300 m<sup>2</sup>). Da der Lärm unter die Grenze der Gehörgefährdung reduziert werden konnte, darf auch die Überschreitung des von uns empfohlenen Richtwertes für den Kosten-Nutzen-Faktor akzeptiert werden.

### 8.1.5 GFK-Rohrschleuderanlage

In einem Betrieb werden glasfaserverstärkte Kunststoffrohre (GFK) von bis zu 2 m Durchmesser in Stahlrohren geschleudert. Das Rollgeräusch der rotierenden Stahlrohre, in die das Grundmaterial gespritzt wird, betrug ohne Kapselung – je nach Drehzahl und Durchmesser – etwa 105 dB(A). Der ursprüngliche Zustand ist auf Bild 25 erkennbar.



Bild 25: GFK-Rohrschleuderanlage ohne Kapselung.



Bild 26: GFK-Rohrschleuderanlage nach der Sanierung durch eine Trennwand.

Es wurde dann – wie Bild 26 zeigt – eine Trennwand zwischen den GFK-Spritzarmen eingebaut (eine Betondecke war bereits vorhanden). Dadurch konnte der Lärm auf 90 dB(A) reduziert werden. Die gleichzeitig installierte, leistungsfähige Absauganlage sorgt für eine bessere Luftqualität.

Die Trennwand ist als Stahlkonstruktion ausgeführt (3 mm Blech, ohne Absorption).

Das Einfügungsdämm-Mass beträgt:	$D_{pA} = 15 \text{ dB(A)}$
Anzahl geschützte Arbeitsplätze:	8–10
Kosten:	nicht bekannt

### Beurteilung

Das Ziel, den Lärm auf etwa 85 dB(A) zu reduzieren, wurde im ersten Anlauf nicht erreicht. Daran hätte auch eine Absorptionsschicht auf der Lärmseite nicht viel geändert, da der Lärm in erster Linie durch die funktionsbedingte Klappe für die Beschickung der Anlage austritt. Weitere Untersuchungen führten dann zum Austausch der Rohrlager, wobei die Rollenlager durch Kugellager ersetzt wurden. Durch diese zusätzliche Massnahme gelang es, den Raumschallpegel auf 82 dB(A) und somit unter die Grenze der Gehörgefährdung zu verringern.

#### 8.1.6 Teilkapselung einer Exzenterstanzmaschine

In einer Montagewerkstatt wurden zwei kleine Exzenterstanzmaschinen (10 t) zur Herstellung von Kleinteilen während mehreren Stunden täglich betrieben. Der Schallpegel am Arbeitsplatz wurde mit  $L_m = 90 \text{ dB(A)}$  ermittelt (Gehörschutzmittel erforderlich). Da die Materialzuführung manuell erfolgt, stand eine Vollkapselung nicht zur Diskussion. Man baute die Teilkapselung, die Bild 27 zeigt.

Das Einfügungsdämm-Mass beträgt:	$D_{pA} = 6 \text{ dB(A)}$
Anzahl geschützte Arbeitsplätze:	3
Kosten:	CHF 4'500.–
Kosten-Nutzen-Faktor:	CHF 250.– pro dB und Arbeitsplatz



Bild 27: Exzenterstanzmaschine mit Teilkapselung. Die Bedienung der Maschine wird durch diese Massnahme nicht erschwert.

### Beurteilung

Durch diese kostengünstige Massnahme wurde erreicht, dass beim Arbeiten an den Stanzmaschinen keine persönlichen Gehörschutzmittel mehr erforderlich sind. Zudem konnte der Lärmpegel in der Montagewerkstatt deutlich reduziert werden.

#### Konstruktion der Teilkapselung

Aussen 20 mm Spanplatten, innen 50 mm Schaumstoffpyramidenplatten als wirksame Mittel- und Hochtonabsorber (geringe Verschmutzung, da keine Blaspistolen zur Reinigung vorhanden sind und trocken gestanzt wird).

#### 8.1.7 Press- und Montageautomat

Zur Herstellung von Kunststoffartikeln wurde eine Spritzgiessmaschine über einen Vibrationsförderer mit einem Pressautomaten verbunden. Die ganze Anlage läuft automatisch, und die fertigen Kleinteile rutschen durch eine Rinne in die Versandbehälter. An den Arbeitsplätzen direkt neben der Anlage wurde ein mittlerer Schalldruckpegel von  $L_m = 93 \text{ dB(A)}$  ermittelt.



Zur Lärmbekämpfung wurde eine Kapselung aus Holz gebaut, deren Wände aus 40 mm dicken Spanplatten bestehen. Auf der Innenseite sind gelochte Weichpavatexplatten montiert. Zwei Fenster aus Isolierglas (4 und 6 mm Glas) sowie eine Türe mit Doppelfalz und Dichtung ergänzen die Kapselung. Die Lüftung konnte ohne grossen Aufwand angepasst werden. Der Materialauswurf erfolgt über einen absorbierend ausgekleideten Kanal (siehe Bild 28).

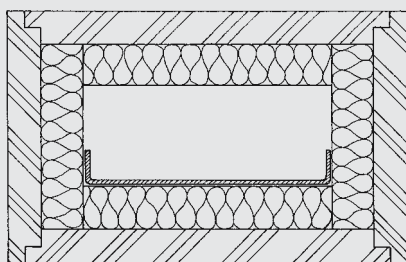


Bild 28: Absorbierend ausgekleideter Kanal für den Materialauswurf.

Das Einfügungsdämm-Mass beträgt:	$D_{pA} = 23 \text{ dB(A)}$
Anzahl geschützte Arbeitsplätze:	3
Kosten:	CHF 5'000.-
Kosten-Nutzen-Faktor:	CHF 72.- pro dB und Arbeitsplatz

### Beurteilung

Auch dieses Beispiel zeigt, dass mit Holzkonstruktionen äusserst kostengünstige Kapselungen gebaut werden können. Der vorgegebene Zielwert, eine Lärmpegelreduktion auf etwa 70 dB(A), konnte genau erreicht werden.

### 8.1.8 Kommandoräume

Der Kommandoraum einer lärmintensiven Anlage kann ebenfalls als Kapselung ausgeführt werden. Nur kapselt man in diesem Fall nicht die Lärmquelle, sondern den Menschen. Man baut schallgedämmte Steuerräume. Die Bilder 29 und 30 zeigen zwei Beispiele.

Für solche Kabinen liegt das Einfügungsdämm-mass zwischen 25 und 40 dB(A).



Bild 29: Steuerraum in der Formerei einer Giesserei.



Bild 30: Steuerraum (links) eines Elektroofens (rechts).

### 8.1.9 Hydraulikaggregat

Der Lärm eines leistungsfähigen Hydraulikaggregates für eine grosse Spezialpresse beeinträchtigte die Arbeitsumgebung massiv. Eine Vollkapselung, deren Wirksamkeit in Bild 31 gezeigt wird, brachte eine deutliche Verbesserung der Verhältnisse.

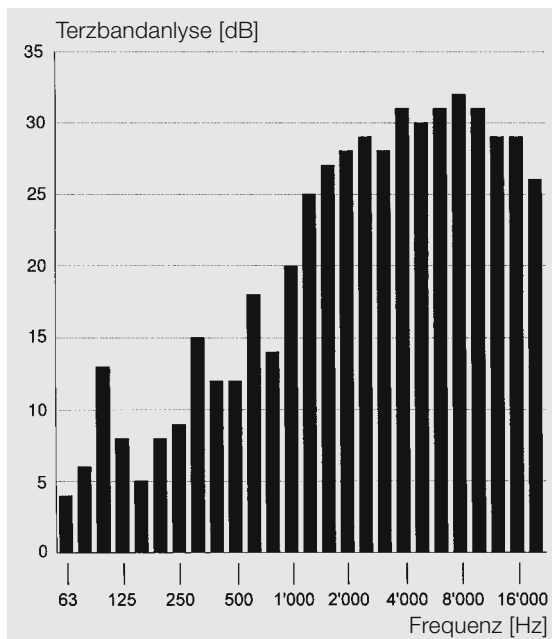


Bild 31: Wirksamkeit der Kapselung eines Hydraulikaggregats.

Das Einfügungsdämm-Mass beträgt:	$D_{pA} = 25 \text{ dB(A)}$
Anzahl geschützte Arbeitsplätze:	3
Kosten:	ca. CHF 28'000.–
Kosten-Nutzen-Faktor:	CHF 373.– pro dB und Arbeitsplatz

#### Beurteilung

Die Kapselung hat die Lärmverhältnisse deutlich verbessert. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis kann als sehr gut bezeichnet werden.

### 8.1.10 Stanzautomat

Bei einem hydraulischen Stanzautomaten wurde in 1 m Abstand ein mittlerer Schalldruckpegel von 105 dB(A) gemessen. Da die Maschine in einer Halle steht, in der noch 45 weitere Arbeitsplätze untergebracht sind, an denen praktisch kein Lärm verursacht wird, war der Bau einer Kapselung nahe liegend. Die realisierte Lösung ist in den Bildern 32 und 33 dargestellt.

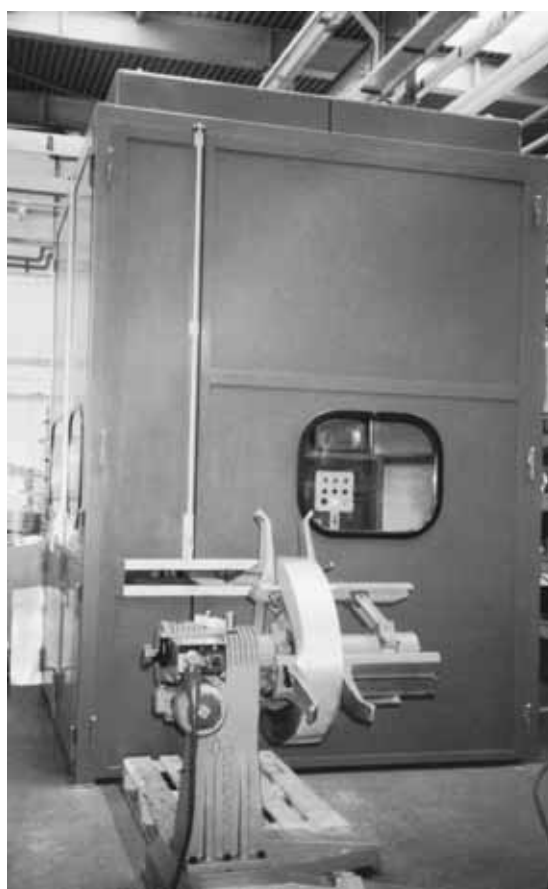


Bild 32: Kapselung eines Stanzautomaten (im Vordergrund ist der Haspel für die Blechbandzuführung zu erkennen).

Das Einfügungsdämm-Mass beträgt:	$D_{pA} = 20 \text{ dB(A)}$
Anzahl geschützte Arbeitsplätze:	45
Kosten:	ca. CHF 32'000.–
Kosten-Nutzen-Faktor:	CHF 35.– pro dB und Arbeitsplatz



Bild 33: Frontseite der geöffneten Kapselung eines Stanzautomaten.

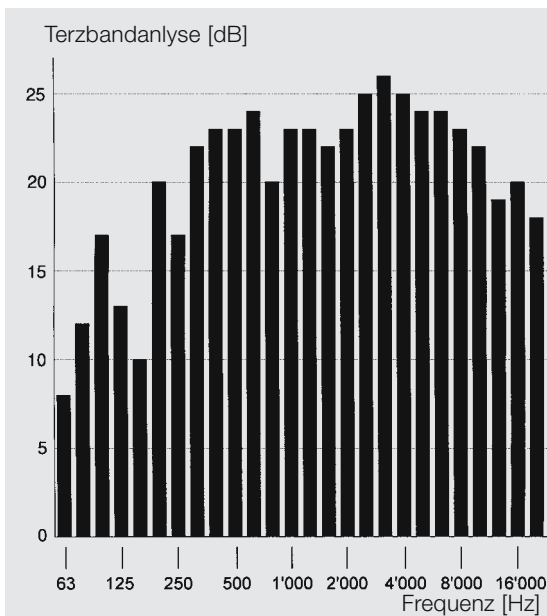


Bild 34: Einfügungsdämmung der Kapselung eines Stanzautomaten.

### Beurteilung

Das hervorragende Kosten-Nutzen-Verhältnis ist bei diesem Beispiel durch die grosse Zahl Arbeitsplätze bestimmt.

### 8.1.11 Teilkapselung einer Doppelgehrungskreissäge

In einem Materiallager stehen einige Doppelgehrungskreissägen für das Ablängen von Aluminiumprofilen. Die Maschinen verursachen an den einzelnen Arbeitsplätzen mittlere Schalldruckpegel von 95 dB(A), mit Spitzenwerten von bis zu 112 dB(A). Da die Maschinen nicht ständig im Einsatz sind, stören die hohen Spitzenwerte die benachbarten Arbeitsplätze stark. Mit Hilfe von Teilkapselungen soll die Lärmsituation verbessert werden. Die realisierte Lösung zeigt Bild 35.

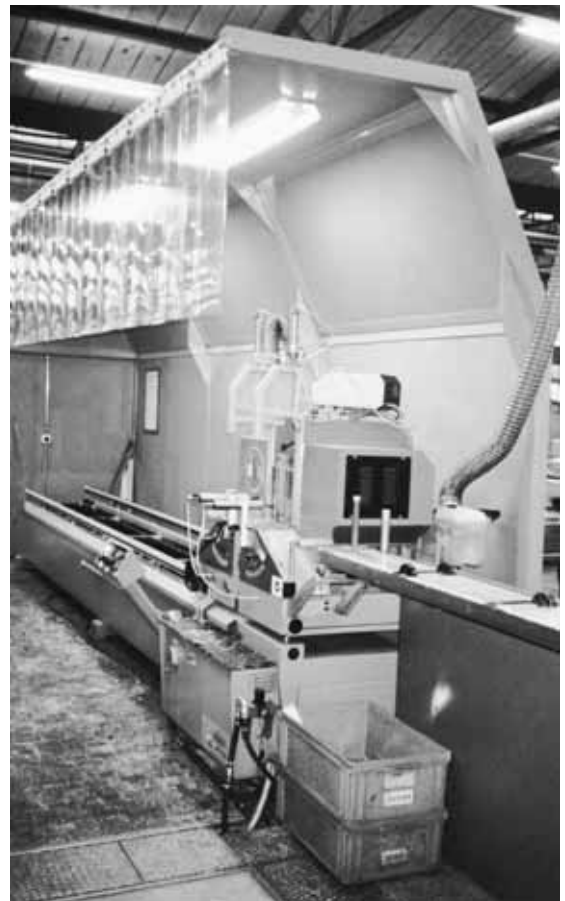


Bild 35: Teilkapselung einer Doppelgehrungskreissäge.

### Beurteilung

Die Wirksamkeit der Teilkapselung liegt – je nach Messstelle – zwischen 15 und 27 dB(A). Erwartungsgemäss hat sich die Lärmsituation für den Maschinenbediener praktisch nicht verändert.

### 8.1.12 Integrierte Kapselung

Für bestimmte Maschinen ist es sinnvoll, die Kapselung direkt in die Maschinenkonstruktion zu integrieren. Diese Bauart wurde bei der Feinschneidpresse gewählt, die in Bild 36 dargestellt ist.



Bild 36: Integrierte Kapselung an einer Feinschneidpresse Feintool MFA 2500 CNC.

#### Beurteilung

Die Wirksamkeit der integrierten Kapselung liegt bei ca. 12 dB(A). Dies bedeutet, dass der Schalldruckpegel im Bereich der Feinschneidpresse unter 85 dB(A) liegt und somit keine persönlichen Gehörschutzmassnahmen erforderlich sind [Messwerte am Arbeitsplatz: mit Druckluftausstoss 83 dB(A), mit mechanischem Ausstoss 80 dB(A)].

### 8.2 Unbefriedigende Beispiele

Dass Kapselungen nicht immer zum gewünschten Erfolg führen, soll nicht verschwiegen werden. Allerdings ist ein Misserfolg in den meisten Fällen auf das Nichtbeachten der elementarsten Ausführungsgrundsätze zurückzuführen. Unbefriedigende Ergebnisse bringen die Kapselung als Lärmschutzmassnahme bei den Beteiligten in Verruf und rauben ihnen die Motivation für weitere ähnliche Investitionen. Das muss nicht, ja das darf nicht sein!

### 8.2.1 Gesenkschmiedepresse

Gesenkschmiedepressen sind sehr lärmintensive Maschinen. Zudem übertragen sie erhebliche Schwingungen auf den Boden. Die Maschine, um die es hier geht, verursachte am Bedienungsort ursprünglich Maximalpegel («Fast») von 124 dB(A), bei einem  $L_m = 108$  dB(A). Dann wurde die Maschine gekapselt (siehe Bilder 37 und 38).



Bild 37: Gesamtansicht der gekapselten Gesenkschmiedepresse.



Bild 38: Pneumatisch betriebenes Acrylglasfenster vor dem Gesenk.

Ausführung der Kapsel: Stahlblech (3 mm), 60 mm Mineralwolle und Lochblechabdeckung. Der pneumatisch betriebene Schieber vor dem Gesenk (Hauptlärmquelle) wurde aus 4 mm dickem Acrylglas hergestellt.

Die nachträglich durchgeführten Messungen ergaben ein Einfügungsdämm-Mass von  $D_{pA} = 5$  dB(A). Im untenstehenden Balkendiagramm sind die Terzbandpegeldifferenzen dargestellt, die über die Wirksamkeit der Kapselung Aufschluss gibt (siehe Bild 39).

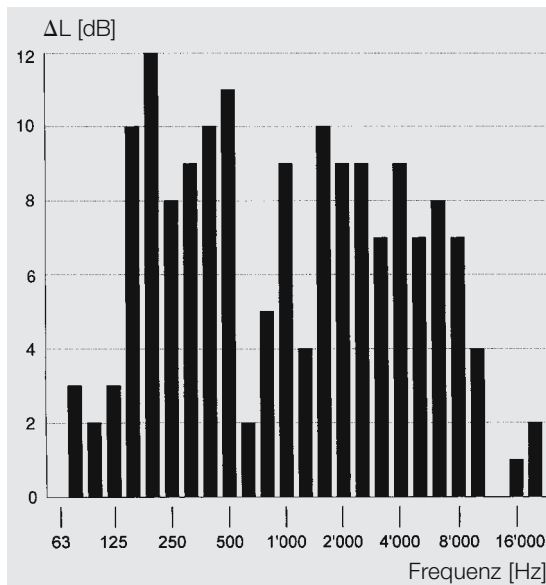


Bild 39: Wirksamkeit der Kapselung der Gesenkschmiedepresse. Als  $\Delta L$  wird hier das Einfügungsdämm-Mass  $D_{pA}$  pro Terzband angegeben.

Anzahl geschützte Arbeitsplätze:	4
Kosten:	CHF 170'000.–
Kosten-Nutzen-Faktor:	CHF 257.– pro dB und Arbeitsplatz

### Beurteilung

Die realisierte Kapselung befriedigt nicht. Den sehr hohen Aufwendungen steht eine Wirkung von nur 5 dB(A) gegenüber. Doch wo liegen hier die Probleme? Einerseits ist der Schieber vor dem Gesenk (Hauptlärmquelle) undicht und völlig unterdimensioniert. Die Druckluftleitungen liegen ausserhalb der Kapselung und strahlen Lärm ab, da sie starr an die Gesenkschmiedepresse angeschlossen sind. Zudem gibt es in der Kapselung Körperschallbrücken, die das Ergebnis beeinträchtigen. Das zu erwartende Einfügungsdämm-Mass liegt bei 15–20 dB(A). Ob es allerdings gelingen wird, den Lärmpegel unter den Grenzwert von 87 dB(A) zu reduzieren, ist fraglich.

### 8.2.2 Peltonturbinen

In einem Kraftwerk standen drei Maschinengruppen mit je 12 MW Leistung. Der Lärm im abgetrennten Kommandoraum sollte reduziert werden. Zu diesem Zweck konstruierte man versuchsweise eine Haube, bestehend aus einer 5 cm dicken Schaumstoffschicht, befestigt an einer Rahmenkonstruktion aus Holz. Diese Haube wurde auf den Turbinenteil abgesetzt (Bild 40). Das ermittelte Einfügungsdämm-Mass betrug – je nach Messstelle – 1–2 dB(A). Da es sich um eine Versuchsanordnung handelt, wird auf den Kosten-Nutzen-Faktor nicht eingegangen.



Bild 40: Schallschutzhaube für eine Peltonturbine, Versuchsaufbau.



## Beurteilung

Der Konstrukteur der Haube hat verschiedenen Grundsätzen keine Beachtung geschenkt, und es sind ihm Überlegungsfehler unterlaufen:

- Schaumstoff absorbiert wohl, aber dämmt praktisch nicht. Zur Schalldämmung wäre Masse erforderlich.
- Bei einer Turbinengruppe strahlt auch der direkt gekoppelte Generator Lärm ab.
- Die Übertragungen in den Kommandoraum wurden – wie nachträgliche Abklärungen ergaben – maßgeblich durch Körperschall verursacht.
- Bei Anlagen wie Kraftwerken ist es sinnvoller, den arbeitenden Menschen direkt zu schützen (Schallschutzkabine). Die Aufwendungen sind um ein Vielfaches kleiner.



Bild 41: Einwurfseite bei einer Mühle für Kunststoffrohre.

Die Idee der Maschinenkapselung wurde nachträglich zu Gunsten einer Sanierung des Kommandoraumes aufgegeben.

### 8.2.3 Kunststoffmühle

In einem Fabrikationsbetrieb für Kunststoffrohre wurde die Mühle in einem getrennten Raum aufgestellt. Gegen die Eingabeseite hin, um Rohre mahlen zu können, wurde nur eine Einwurföffnung vorgesehen (Bild 41). Da um den Einwurfschacht Öffnungen von mehreren Zentimetern Spaltbreite vorhanden waren, reduzierte die planerisch sinnvolle Massnahme die schalltechnische Wirksamkeit um weniger als 5 dB auf einen Belastungspegel von etwa 105 dB(A). Da zudem der Hauptlärmanteil über die Einwurföffnung abgestrahlt wurde, konnte kein besseres Ergebnis erwartet werden.

In einem zweiten Schritt wurde eine Kabine um den Einwurfbereich gebaut (Bild 42). Der Schacht für die Kunststoffrohre wurde gleichzeitig absorbierend ausgekleidet. Diese Massnahmen führten zu einer Pegelsenkung von gut 20 dB, so dass nun der Beurteilungspegel am Arbeitsplatz (je nach Produkt) im Bereich von 85 dB(A) liegt.



Bild 42: Kapselung der Einwurfseite bei einer Mühle für Kunststoffrohre.



#### 8.2.4 Buchbindereimaschine

Eine grosse Buchbindereimaschine wurde mit einer Sicherheits- und Lärmverschalung installiert. Bei Inbetriebnahme der Anlage überstieg der erwartete Schalldruckpegel den Garantiewert um beinahe 10 dB.

Detaillierte Abklärungen ergaben, dass die Verschalung an den Stossstellen zur Tragkonstruktion Spaltbreiten von etwa 10 mm aufwies (Bild 43). Diese Öffnungen, von einem Industriedesigner aus optischen Gründen vorgeschlagen, waren massgeblich am schlechten Ergebnis beteiligt. Zudem war die Kapselung nach unten völlig offen gebaut.



Bild 43: Undichte Kapselung an einer Buchbindereimaschine.

Dieses Beispiel zeigt, dass sich Konzessionen in Bezug auf schalltechnische Grundanforderungen wie absolute Dichtigkeit einer Kapsel nicht bezahlt machen. Der erforderliche Sanierungsaufwand war beträchtlich und wäre bei einer akustisch optimalen Planung vermeidbar gewesen.

## 9 Bestellung der Kapselung

Wichtigste Kenngrösse für die Bestellung einer Kapselung ist das Einfügdämm-Mass. Es kann als A-Schallpegel oder in Oktavbandwerten angegeben werden. Natürlich sind für eine Bestellung noch eine ganze Reihe weiterer Punkte erforderlich (siehe Ziffer 3.1).

Im Anhang finden Sie ein Muster einer Offert- und Bestellspezifikation. Darin sind die Angaben zusammengestellt, die der auf schalldämmende Kapselungen spezialisierten Firma beim Einholen einer Offerte oder bei einer Bestellung gemacht werden sollten. Genaue Angaben erleichtern die Zusammenarbeit zwischen dem Kunden und der Firma. Für den praktischen Gebrauch kann das Muster im Anhang kopiert und das Zutreffende angekreuzt werden. Die Offert- und Bestellspezifikation umfasst folgende Punkte:

1. Allgemeine Beschreibung der Anlage
2. Ausführung der Kapselung (Abmessungen, Bauweise, Klappen, Türen usw.)
3. Akustische Angaben und Anforderungen
4. Werkstoffe und Oberflächenbehandlung
5. Betriebstechnische Bedingungen und Anforderungen
6. Elektrische Ausrüstung
7. Montageanforderungen

Die Zusammenstellung ist wegen der Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten recht umfangreich. Trotzdem erhebt sie keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Angaben über Stückzahlen, Lieferfristen, Abnahmevorschriften, Zahlungsbedingungen usw. sind nicht enthalten.

Will ein Kunde eine Kapselung kaufen, erwartet er zu Recht eine gute akustische Wirkung bei uneingeschränktem Betrieb der Anlage. Dieser Forderung soll Beachtung geschenkt werden!

## 10 Schlussbemerkungen

Die Lärmbekämpfung durch Kapselungen ist ein Beitrag zur Humanisierung der Arbeitsplätze. Kapselungen – Voll- oder Teilkapselungen – sind ein in der technischen Lärmbekämpfung anerkanntes Mittel, um die Ausbreitung des Lärms zu reduzieren. Die Lärmschutztechnik hat auf diesem Gebiet ein sehr hohes Niveau erreicht (Bild 44). Spezialfirmen sind heute in der Lage, auch für sehr komplexe Probleme praktikable Lösungen anzubieten. Der Eigenbau einer Kapselung lohnt sich nur, wenn man die Probleme, wie sie in dieser Broschüre dargestellt werden, im Griff hat. Im Zweifelsfall empfiehlt es sich, einen Spezialisten beizuziehen. Es kann aufschlussreich sein, einen Preisvergleich anzustellen.

Werden bei der Planung und beim Bau von Kapselungen die dargelegten Hinweise beachtet, so kann allgemein mit einem befriedigenden Resultat gerechnet werden

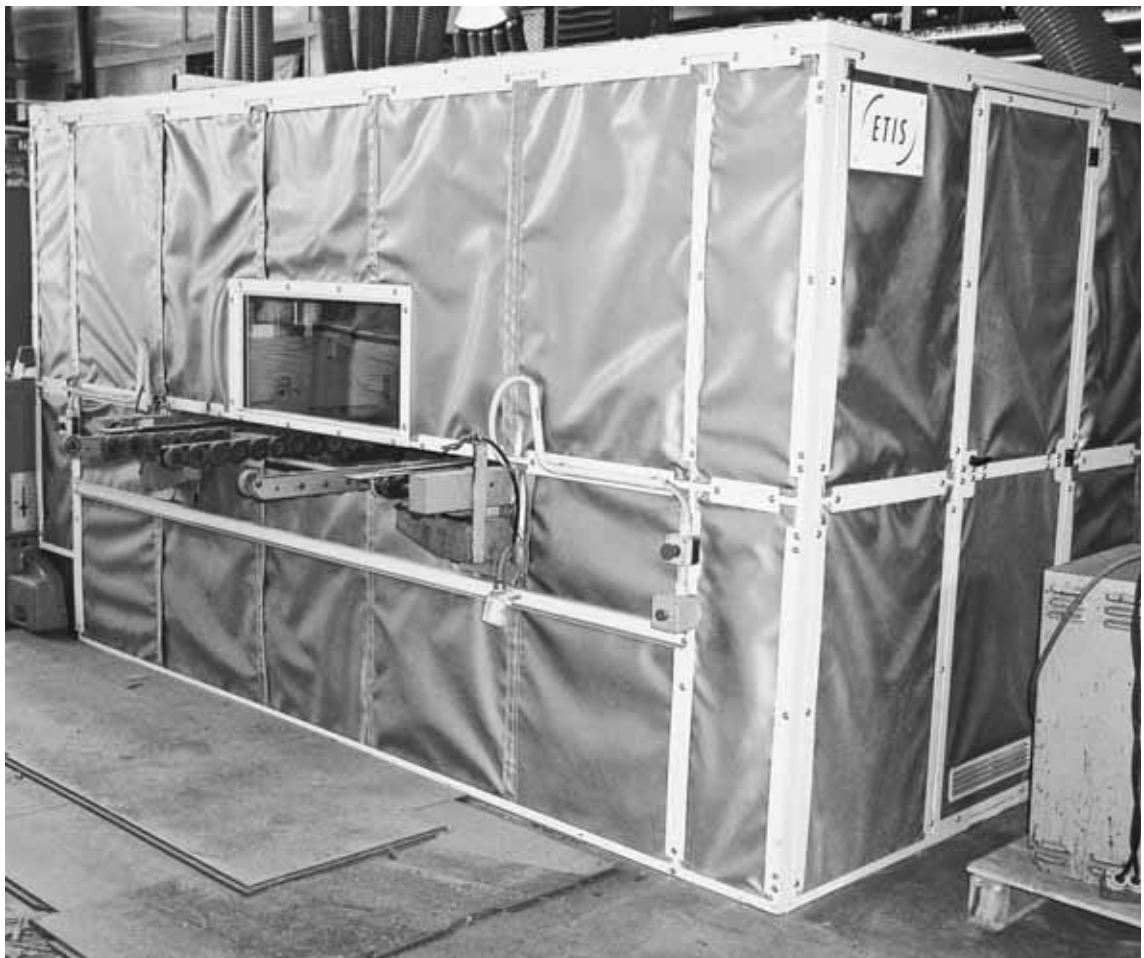


Bild 44: Moderne, sehr leichte Kapselung für einen Fräsautomaten für Kunststoff-Bodenbeläge. Pegelsenkung von 93 auf 76 dB(A). ETIS AG, Herisau.

# Dank

Den nicht namentlich erwähnten Firmen danken wir für die Erlaubnis, Fotos aus ihren Fabrikationsräumen zu publizieren.

# Literaturverzeichnis

- Schallschutz durch Kapselung, VDI Nr. 2711 (ersatzlos zurückgezogen)
- Schallemissionsmessungen an Maschinen, Suva-Best.-Nr. 66027
- Industrielle Raumakustik, Suva-Best.-Nr. 66008

Alle in dieser Broschüre aufgeführten Messergebnisse stammen, soweit nichts anderes erwähnt ist, aus der Sammlung der Suva.

# Anhang

## Muster einer Offert- und Bestellspezifikation für schalldämmende Kapselungen

### 1 Allgemeine Angaben

#### 1.1 Beschreibung

Maschinen- bzw. Anlagenbezeichnung:

---

---

Zu kapselnde Maschine:

---

---

#### 1.2 Abmessungen

Abmessungen der Kapselung gemäss beiliegender Skizze Nr. \_\_\_\_\_

- Hauptabmessungen der Kapselung:  
Länge: \_\_\_\_\_ mm, Breite: \_\_\_\_\_ mm, Höhe: \_\_\_\_\_ mm
- Innenmasse  Aussenmasse
- Abmessungen der zu kapselnden Maschine gemäss beiliegender Skizze  
Nr. \_\_\_\_\_

### 2 Ausführung der Kapselung

#### 2.1 Einbau- bzw. Aufstellungsbedingungen

- Ortsfest
- Eingebaut in Fahrzeug
- Unterseite der Kapselung offen (Aufstellung auf geschlossener Fläche)
- Unterseite der Kapselung geschlossen
- Sonstige Anordnung: \_\_\_\_\_

#### 2.2 Aufstellungsort

- Geschlossener Raum
- Im Freien, unter Dach
- Im Freien
- Am Fahrzeug

#### 2.3 Standfläche der Kapselung

Unebenheit:  $\pm$  \_\_\_\_\_ mm

- Abstufungen gemäss beiliegender Skizze Nr. \_\_\_\_\_

Körperschallverbindungen zwischen Standfläche und Schallquelle

- nein  ja  vgl. Skizze der Lagerung Nr.: \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

## 2.4 Bauart

- Als Ganzes abhebbar
- Teilweise abhebbar (gemäss Skizze Nr. \_\_\_\_\_)
- Vollständig demontierbar
- Teilweise demontierbar (gemäss Skizze Nr. \_\_\_\_\_)
- Als Ganzes verschiebbar (gemäss Skizze Nr. \_\_\_\_\_)
- Teilweise verschiebbar (gemäss Skizze Nr. \_\_\_\_\_)
- Vollständig begehbar
- Teilweise begehbar (gemäss Skizze Nr. \_\_\_\_\_)

## 2.5 Klappen

- Gemäss Skizze Nr. \_\_\_\_\_
- Anzahl: \_\_\_\_\_
- Grösse: \_\_\_\_\_
- Manuelle Bedienung
- Pneumatische Bedienung
- Hydraulische Bedienung
- Elektrische Bedienung
- \_\_\_\_\_

## 2.6 Fenster

- Gemäss beiliegender Skizze Nr. \_\_\_\_\_
- Anzahl: \_\_\_\_\_
- Grösse: \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

## 2.7 Türen

- Klapptüren: \_\_\_\_\_ Stück
- Schiebetüren: \_\_\_\_\_ Stück
  
- Normale Türgrösse
- Grösse: \_\_\_\_\_

## 2.8 Öffnungen für Durchführungen

- Gemäss beiliegender Skizze Nr. \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_



### 3 Akustische Angaben und Anforderungen

#### 3.1 Erforderliches Einfügungsdämm-Mass der Kapsel

Frequenz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
$D_{pA}$									dB

#### 3.2 Ausgangswerte für die Bestimmung von $D_{pA}$

##### 3.2.1 Schallemission der ungekapselten Schallquelle

- Schalleistungspegel  $L_{WA} =$  \_\_\_\_\_ dB
- Oktavbandanalyse vorhanden ( $L_{W,okt}$ )
- Terzbandanalyse vorhanden ( $L_{W,terz}$ )
- Schalldruckpegel in m \_\_\_\_\_ Abstand:  $L_A =$  \_\_\_\_\_ dB  
bei einer Messfläche von \_\_\_\_\_  $m^2$
- Das räumlich gemittelte Oktav-Schalldruckpegelspektrum  $L_{okt}$  in \_\_\_\_\_ m Abstand  
ist bekannt (vgl. «Schallemissionsmessungen an Maschinen», Suva-Best.-Nr. 66027).

Frequenz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
$L_{W,okt}$ oder $L_{okt}$									dB

##### 3.2.2 Höchstzulässige Schallemission der gekapselten Schallquelle

- Schalleistungspegel  $L_{WA} =$  \_\_\_\_\_ dB
- Schalldruckpegel in \_\_\_\_\_ m Abstand von der Kapselwandung  $L_A =$  \_\_\_\_\_ dB
- Oktavband-Schalleistungspegel (z. B. NR-Kurve),  $L_{W,okt}$
- Oktavband-Schalldruckpegel (z. B. NR-Kurve),  $L_{okt}$  in einem Abstand von \_\_\_\_\_ m

Frequenz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
$L_{W,okt}$ oder $L_{okt}$									dB

## **4 Werkstoffe und Oberflächenbehandlung**

### **4.1 Kapselaussenseite**

- Nach Wahl des Lieferanten
- Stahl, beliebig
- Stahl, Werkstoff-Nr. \_\_\_\_\_
- Aluminium, Werkstoff-Nr. \_\_\_\_\_
- Kunststoff
- Holz
- \_\_\_\_\_

### **4.2 Schallabsorptionsmaterial**

- Nach Wahl des Lieferanten
- Mineralwolle, nicht brennbar
- Stahlwolle
- Offenporiger Schaumstoff, schwer brennbar
- Ölbeständig
- \_\_\_\_\_

### **4.3 Abdeckung des Schallabsorptionsmaterials**

- Nach Wahl des Lieferanten
- Gelochte Platten aus \_\_\_\_\_
- Gewebe aus \_\_\_\_\_
- Vlies aus \_\_\_\_\_
- Streckmetall aus \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

### **4.4 Oberflächenschutz der Kapselaussenseite**

- Nach Wahl des Lieferanten
- Unbehandelt
- Verzinkt
- Grundiert
- \_\_\_\_\_

## 5 Betriebstechnische Bedingungen und Anforderungen

### 5.1 Sicherheitsbestimmungen

- Nicht notwendig

---

---

---

### 5.2 Angaben und Anforderungen zur Kapselbelüftung

#### 5.2.1 Luftdurchsatz

- Luftwechsel: \_\_\_\_\_ fach/h
- Abzuführende Wärmemenge (total, z. B. inkl. Beleuchtung): \_\_\_\_\_ kW  
Zulässige Kühllufterwärmung: \_\_\_\_\_ °C ± 2°C
- \_\_\_\_\_

#### 5.2.2 Belüftungsart

- Naturzug (ohne Ventilator)
- Zwangsbelüftung mit
- Ventilator saugend       Ventilator drückend
- \_\_\_\_\_

#### 5.2.3 Kühlluftführung

- Eintritt direkt durch schallgedämpfte Öffnungen in der Kapselwand
- Eintritt durch vorhandene Öffnungen (z. B. Boden)
- Austritt direkt durch schallgedämpfte Öffnungen in der Kapselwand
- Verwendung vorhandener Systeme gemäss beiliegenden Angaben
- \_\_\_\_\_

#### 5.2.4 Temperaturen

- Höchste Oberflächentemperatur der Schallquelle ohne Kapselung \_\_\_\_\_ °C
- Niedrigste Oberflächentemperatur der Schallquelle ohne Kapselung \_\_\_\_\_ °C
- Kühlluft eintritt \_\_\_\_\_ °C
- \_\_\_\_\_

### 5.3 Umgebungsbedingungen

#### 5.3.1 Klimabedingungen

- Oft hohe Feuchtigkeit (> 75 % r.F.)
- Oft hohe Aussentemperatur (> 30°C)
- Auftreten von Schnee und Eis
- Umgebungsluft salzig
- Umgebungsluft enthält folgende korrodierende Luftverunreinigungen:

\_\_\_\_\_

- \_\_\_\_\_

#### 5.3.2 Verunreinigungen durch die Schallquelle

- Staubauswurf
- Art der Verunreinigung: \_\_\_\_\_
- Ständige Feuchtigkeitsabgabe
- Ölauswurf
- \_\_\_\_\_

#### 5.3.3 Arbeitsstoffe an der Schallquelle

- Explosionsgefährlich
- Brandfördernd, leicht entzündbar
- Giftig, gesundheitsgefährdend, ätzend
- Korrodierend
- Stoff: \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

### 5.4 Verschiedenes

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **6 Elektrische Ausrüstung**

### **6.1 Elektroinstallationen**

#### 6.1.1 Beleuchtung

- Nach Wahl des Lieferanten
- Anordnung der Leuchten gemäss beiliegender Skizze Nr. \_\_\_\_\_  
Anzahl: \_\_\_\_\_ Leistung: \_\_\_\_\_ W  
Bauart: \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

#### 6.1.2 Steckdosen

- Anordnung nach Wahl des Lieferanten
- Anzahl: \_\_\_\_\_ Anschlussleistung: \_\_\_\_\_ kW
- Anordnung gemäss beiliegender Skizze Nr. \_\_\_\_\_

#### 6.1.3 Belüftungsventilatoren

- Anordnung nach Wahl des Lieferanten
- Anordnung gemäss beiliegender Skizze Nr. \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### **6.2 Schutzart für elektrische Ausrüstung**

- Beleuchtung: \_\_\_\_\_
- Ventilatoren: \_\_\_\_\_
- Alle Teile explosionsgeschützt

### **6.3 Stromversorgung der elektrischen Ausrüstung**

- Beleuchtung: \_\_\_\_\_ V, \_\_\_\_\_ Hz
  - Wechselstrom
  - Gleichstrom
- Ventilatoren: \_\_\_\_\_ V, \_\_\_\_\_ Hz
  - Drehstrom
  - Wechselstrom
  - Gleichstrom
- Steckdosen: \_\_\_\_\_ V, \_\_\_\_\_ Hz
  - Drehstrom
  - Wechselstrom
  - Gleichstrom
- Die elektrischen Installationen innerhalb der Kapsel inkl. Klemmkästen gehören zum Lieferumfang
- \_\_\_\_\_

## 7 Montageforderungen

Das grösste Kapselement darf die folgenden Masse nicht überschreiten:

\_\_\_\_\_

Das zulässige Gesamtgewicht der Kapsel beträgt \_\_\_\_\_ kg

Das Gewicht des schwersten Einzelteiles darf höchstens \_\_\_\_\_ kg betragen

Montage durch Lieferanten

Montage durch \_\_\_\_\_

Mass- und Sichtkontrolle bei \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ort, Datum:

Unterschrift:

\_\_\_\_\_

Beilagen:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



