

## 2.3.3 Hören - Gehör, Schall/Lärm

### 1 Zur Physiologie des Hörorgans

Die Physiologie des Hörorgans wird grob skizziert:

- nach der Funktion des Schallwellenapparates (Übertragungsweg für Schallschwingungen; vgl. Abbildung 1) sowie
- nach der Funktion der Schnecke (Sitz des "Corti'schen Organs" als eigentliches Sinnesorgan) (vgl. Abbildung 1 u. Abbildung 2).

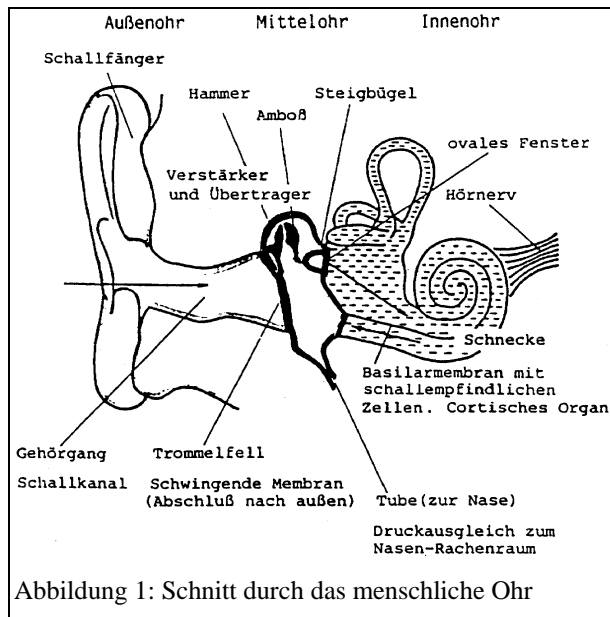


Abbildung 1: Schnitt durch das menschliche Ohr

Übertragungsweg der auf das äußere Ohr auftreffenden Schallwellen bis zum Innenohr/Schnecke:

Über Ohrmuschel, Gehörgang, Trommelfell, Gehörknöchelchen (Hammer, Amboß, Steigbügel) werden die Schwingungen auf das ovale Fenster der Schnecke übertragen und verstärkt. Ein zusätzlicher Weg verläuft über die Knochenleitung (hohle Schädelknochen und Innenohr; Töne oberhalb 2000 Hz).

In die Windungen der knöchernen Schnecke ist die häutige Schnecke eingelassen, die außen und innen in Flüssigkeit (Lymphe) eingebettet ist. Auf der Basilarmembran, eine freischwingende Membran der häutigen Schnecke, ist das eigentliche Sinnesorgan des Gehör-

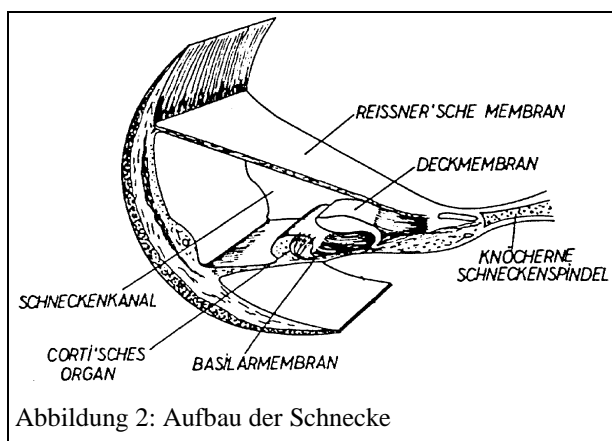


Abbildung 2: Aufbau der Schnecke

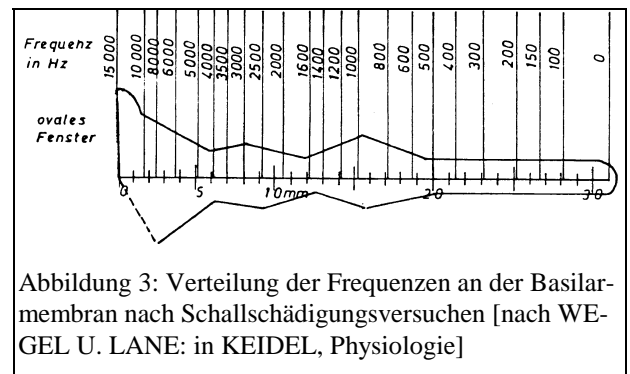


Abbildung 3: Verteilung der Frequenzen an der Basilarmembran nach Schallschädigungsversuchen [nach WEGEL U. LANE: in KEIDEL, Physiologie]

sinns angeordnet, das "Corti'sche Organ"; in ihm liegen die Haarzellen (Sinneszellen), die als Mechanorezeptoren die Schwingungen aus der Lymphe aufnehmen (Abbildung 2).

Verteilung der Frequenzen auf der Basilarmembran (vgl. Abbildung 3)

Vom Steigbügel aus werden über das ovale Fenster die Druckschwankungen auf die Schnecke übertragen. In ihr pflanzen sich nach dem komplizierten Prinzip der "Wanderwellendispersion" die Druckschwankungen als Wanderwellen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten so fort, dass sie nach ihren Amplitudenmaxima und Frequenzen unterschieden werden können. Die Basilarmembran (und damit die radiäre Einwirkung auf die Haarzellen) wird bei hohen Frequenzen in der Nähe des Steigbügels ausgelenkt, bei tiefen in der Nähe der Schneckenspitze. Auf dem Wege zum Gehirn (Gehörnerv) und im Gehirn selbst werden diese Informationen noch weiter aufgeschlüsselt und verarbeitet.

### Gehörschädigung infolge zu intensiver Schall-/Lärm-einwirkung ist nicht umkehrbar

Auswirkungen von Lärmbelastungen auf die Haarzellen des "Corti'schen Organs":

- bleibende Schäden an den Haarzellen selbst oder ihren Trägerzellen (z.B. Stoffwechselstörungen)
- mechanische Schäden (z.B. Abreißen der Haarzellen nach Knallen/Explosionen).

### 2 Grundbegriffe, Definitionen

Nach dem Sehorgan ist das Hörorgan das wichtigste Sinnesorgan des Menschen. Es dient der Verständigung durch die Sprache, der Warnung vor Gefahren und der emotionalen Beeinflussung durch das Medium Sprache und Musik. Der Hörbereich des jungen Menschen geht von 16. bis 16 000 Hz (vgl. Abbildung 4).

Der Wahrnehmungskanal "Hören" ist stets im Einsatz (Alarmwirkung)! Das Gehör verfügt über keine Adaptationsmechanismen wie das Auge (akustischer Dauerstress).

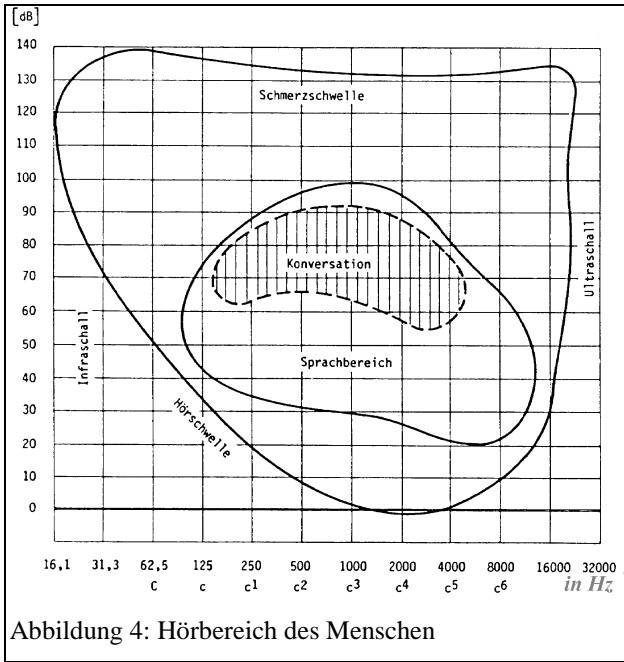


Abbildung 4: Hörbereich des Menschen

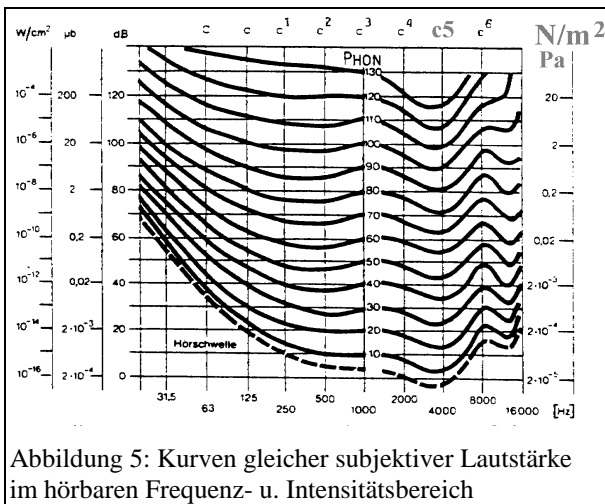


Abbildung 5: Kurven gleicher subjektiver Lautstärke im hörbaren Frequenz- u. Intensitätsbereich

Lärm ist unerwünschter bzw. störender oder schädigender Schall. Schall, ein physikalischer Begriff, wird dann zum "Lärm", wenn eine subjektiv erlebte Belästigung, eine Erschwerung der Sprachverständlichkeiten oder eine objektive, nachweisbare Änderung physiologischer Abläufe eintritt. Lärm kann zu bleibenden Gesundheitsschäden führen. Ein einzelner Ton, ein Geräusch, ein Knall kann als Lärm empfunden werden. Auch wenn Geräusche nicht bewusst als störend erlebt werden, werden sie als Lärm bezeichnet, sofern sie die Gesundheit gefährden oder schädigen. [JUNGKIND/NOHL 1986]

Ob Schall als Lärm empfunden wird, hängt u.a. ab von:

- dem Schalldruck,
- der Schallhöhe, (Frequenz bzw. -zusammensetzung)
- der Einwirkdauer (Zeit),
- dem zeitlichen Schallverlauf (an- und abschwellend),
- der Art der Beschäftigung (geistige, körperliche Arbeit)

Schalldruck p in N/m <sup>2</sup>	Schallintensität I in W/m <sup>2</sup>	Schalldruckpegel L in dB	Beispiele
0,000 02	0,000 000 000 001 0,000 000 000 01	0 10	Hörschwelle Rauschen von Laub
0,000 2	0,000 000 000 1 0,000 000 001	20 30	ruhige Stadtwohnung Flüstern
0,002	0,000 000 01 0,000 000 1	40 50	leises Geräusch leise Radiomusik
0,02	0,000 001 0,000 01	60 70	normales Gespräch Straßenverkehr
0,2	0,000 1 0,001	80 90	Metallwerkstatt Webereisaal
2,0	0,01 0,1	100 110	Autohupe Bohrhammer
20,0	1	120	Schmerzgrenze

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Schalldruck, Schallintensität u. Schalldruckpegel (nach [HETTINGER/WOBBE, 1993])

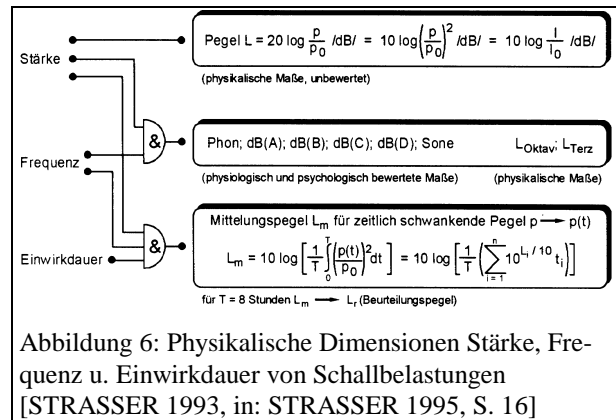


Abbildung 6: Physikalische Dimensionen Stärke, Frequenz u. Einwirkdauer von Schallbelastungen [STRASSER 1993, in: STRASSER 1995, S. 16]

- der inneren Einstellung zur Schallquelle (z.B. un-freiwillig Beschallte);
- der augenblicklichen Leistungsdisposition (Ermüdete, Kranke oder Ausgeruhete, Gesunde).

Hörfempfinden des Menschen bezogen auf die Frequenz und den Schalldruckpegel (vgl. Abbildung 5).

Schalldruckpegel:

Logarithmisches Maß für das Verhältnis eines gemessenen Schalldrucks zum Bezugsschalldruck p<sub>0</sub>. Die Hörschwelle p<sub>0</sub> eines Sinustones von 1 kHz liegt bei etwa 2 x 10<sup>-5</sup> N/m<sup>2</sup> bzw. Pa (vgl. Tabelle 11, Berechnung siehe Abbildung 6).

### 3 Wirkungen des Lärms auf den Menschen

Lärm wirkt auf das Hörorgan ein, erzeugt also aurale Wirkungen (→ Hörschäden), aber hat auch weitergehende extra-aurale Wirkungen. Diese reichen von psychischem Stress über vegetative Reaktionen (Hautge-

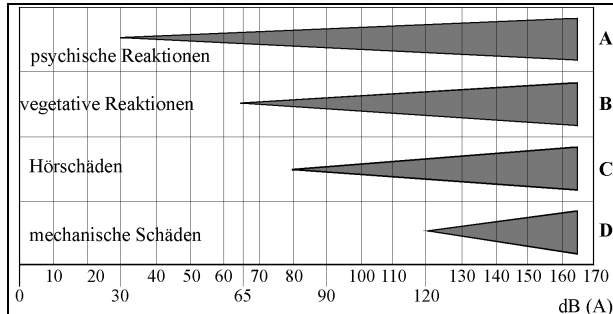


Abbildung 7: Art der Auswirkungen des Lärms auf den menschlichen Organismus [in Anlehnung an LEHMANN]

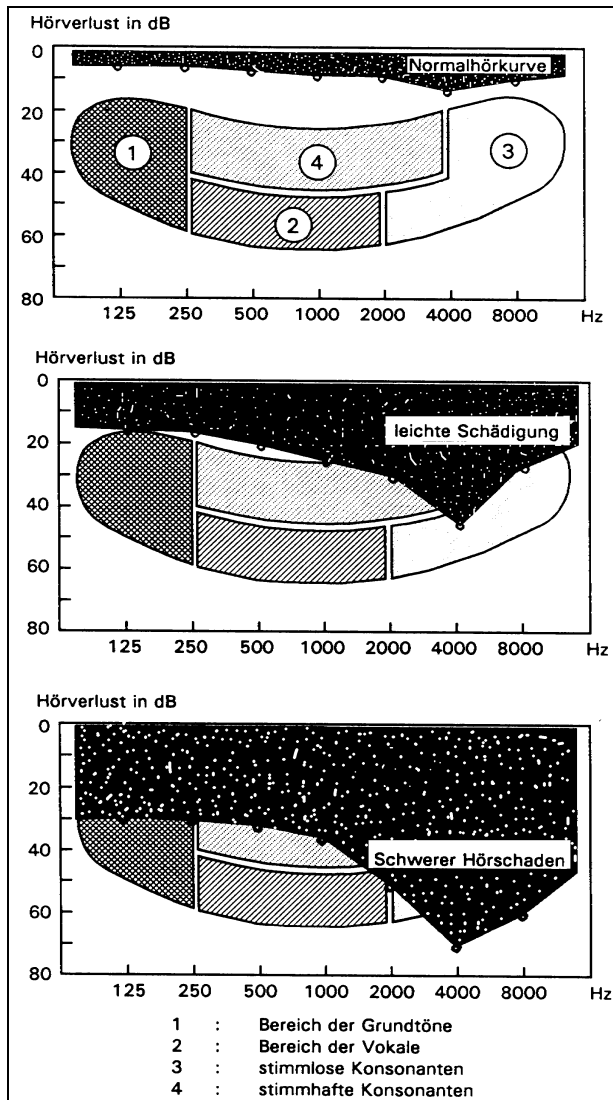


Abbildung 8: Audiogramm unterschiedlicher Hörschädigung mit Frequenz- und Pegelbereichen, wie sie für normale Gespräche in 1 m Abstand typisch sind. [HETTINGER/WOBBE; 1993, S. 264]

fäßverengungen, Erhöhung des Muskeltonus, höhere Herzfrequenz usw.) bis hin zu psychosomatischen Erkrankungen (Schlafstörungen, Magengeschwüren etc.. Vgl. [STRASSER; in: HETTINGER/WOBBE, 1993, S. 267 f.]).

- Vier unterschiedliche Reaktionsbereiche (Abbildung 7)
- psychische Reaktionen (physio-psychologische Einwirkungen des Lärms)
  - vegetative Reaktionen (Funktionsbeeinflussungen)
  - Schädigung des Hörvermögens (Hörschäden)
  - Schädigung des Gehörs (mechanische Schäden).

#### Lärmhörschäden

Da auch die individuelle Konstitution für die Gefährdung eine Rolle spielt, kann nicht im Einzelfall aus einem bestimmten Beurteilungspegel auf einen zu erwartenden Hörschaden geschlossen werden. Unter Verwendung des Diagramms Abbildung 9 ist es möglich das durchschnittliche Risiko für eine "Permanent Threshold Shift" (PTS) abzuschätzen.

Aus der untersten Kurve  $L_r \geq 80$  dB(A) ergibt sich der mit zunehmendem Lebensalter ohne nennenswerte Lärmbeaufschlagung steigende Prozentsatz der von einem Gehörschaden Betroffenen.

Würden z. B. zwei Gruppen von 18-jährigen einem Beurteilungspegel ( $L_r$ ) von 100 dB(A) bzw. 85 dB(A) exponiert, so müssten nach 15 Jahren in der einen Gruppe (100 dB(A)) bereits 40% der dann erst 33-jährigen mit einem permanenten Hörschaden rechnen, wogegen in der anderen Gruppe (85 dB(A)) allenfalls jeder Zehnte davon betroffen wäre.

Um gleiche Beträge (dB-Werte) ansteigende Pegel oberhalb von 80 dB(A), die heute allgemein als Nullrisiko für den lärmbedingten Hörschaden gelten, bergen ein überproportional höheres Risiko.

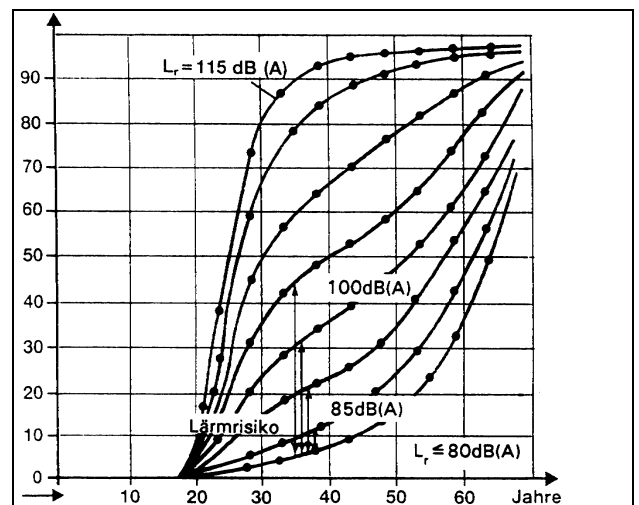


Abbildung 9: Diagramm zur Ermittlung des Risikos einer Gehörschädigung (PTS) durch Alter und Lärmbelastung bei unterschiedlichen Beurteilungspegeln (abgewandelt nach BÜRCK) [HETTINGER, WOBBE, 1993, S. 264]. (PTS  $\geq 25$  dB gemittelt im Frequenzbereich 350-2800 Hz)

Oberhalb 85 dB(A) ist längerfristig mit Dauerschäden des Gehörs zu rechnen (siehe Abbildung 9). Der Gehörverlust ist bleibend. [STRASSER; in HETTINGER/WOBBE, 1993]

Auch unterhalb 85 dB(A) kann bei hoher Impulshaltigkeit der Geräusche eine Lärmgefährdung in Richtung Gehörschädigung gegeben sein.

**Lärmschwerhörigkeit als entschädigungspflichtige Berufskrankheit (BK 2301)**

Die Lärmschwerhörigkeit ist die einzige Krankheit, die derzeit eindeutig dem Lärm zuzuschreiben ist. Messbar durch Audiometrie ("C<sup>5</sup>-Senke" um 4000 Hz) (vgl. Abbildung 8 u. Abbildung 10). "Das Gehör ist mit zunehmendem Alter - auch ohne ausgesprochene Lärmbelastung während der Arbeitszeit - Abnutzungserscheinungen unterworfen. Nach der aus dem Wanderwellenprinzip und der Orts- Frequenz-Dispersion der Schallwellen im Innenohr naheliegenden "Teppichläufertheorie" sind bei gleich verteilten Frequenzen in den das Ohr

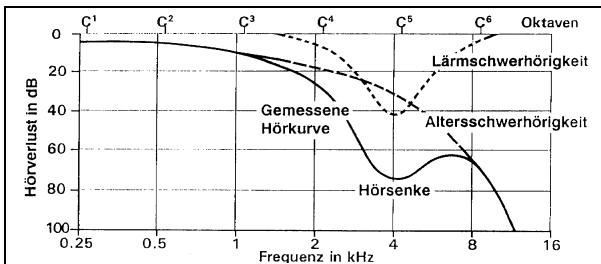


Abbildung 10: Beispiel eines lärm- u. altersbedingten Hörverlustes eines Mannes im Alter von 65 Jahren [HETTINGER/WOBBE, 1993, S. 259]

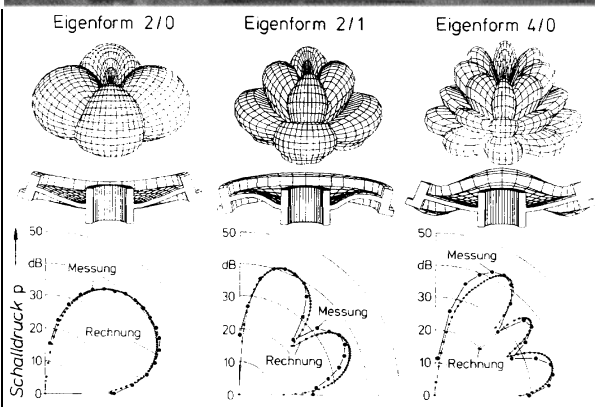
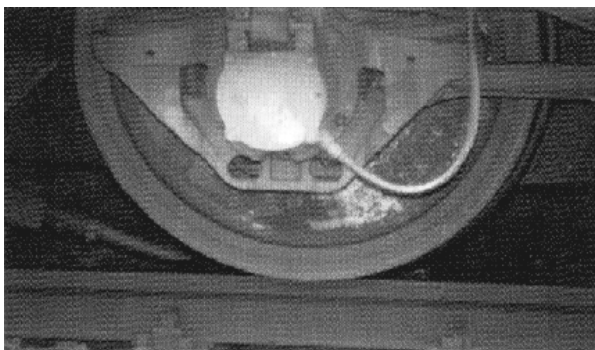


Abbildung 11: Schallabstrahlung an Eisenbahnradern

treffenden Geräuschen diejenigen Sinneszellen einer stärkeren Belastung ausgesetzt, die im Eingangsbereich des Innenohrs sitzen. Ähnlich wie ein Teppich in den unteren Etagen des Treppenaufganges eines mehrstöckigen Gebäudes stärker abgenutzt wird, werden auch die für die hohen Frequenzen zuständigen Haarzellen im Laufe des Lebens den Beanspruchungen zuerst erliegen. So sind vornehmlich höhere Frequenzen mit zunehmendem Lebensalter nicht mehr oder nur noch bei höherer Schallintensität wahrnehmbar." [STRASSER, 1993, S.259]

**4 Lärminderungsmaßnahmen**

**Schalldämpfung:** Absorption der Schallenergie an Raumbofläche (Wände, Decken, Fußböden) und ihre Umsetzung in Verlustenergie oder ihre Abwanderung in nicht mehr störende Richtungen oder Räume.

**Schalldämmung:** Verhinderung der Schallausbreitung durch schallreflektierende Hindernisse. Sie ist um so wirksamer, je stärker sich der Wellenwiderstand der beiden schallführenden Medien unterscheidet (bei Luftschall harte, schwere Wände; bei Körperschall in Stahl oder Beton weiche und leichte Substanzen).

**Luftschalldämpfung** durch Schallschluckstoffe: poröse Stoffe mit durchgehenden Poren, in denen durch äußere Reibung die Schallenergie in Wärme umgesetzt oder vernichtet wird.

**Dämpfung des Körperschalls** durch: körnige Medien (Sand), homogene Dämpfungsschichten (Antidröhnstriche), Sandwichschichten (Dämpfungsmaterial zwischen Metallplatten).

Eisenbahnräder z.B. sollen leise sein, also möglichst wenig Schall abstrahlen. Die Schallabstrahlung hängt unter anderem von der Querschnittsform des Rades ab, die in gewissen Grenzen variiert werden kann. Je nach Radgeometrie stellen sich unterschiedliche Schwingungsformen des Rades mit zugehörigen Schallfeldern ein. (aus: Broschüre des Fachbereichs Maschinenbau, Universität Hannover, 1994 Abbildung 11).

**5 Maßnahmen zur Lärmbekämpfung**

I. **Lärmarme Konstruktion** von Betriebsmitteln (Baulemente aus Gummi oder Kunststoffen, elastische Kupplungen oder Aufhängungen, Massenausgleich bewegter Teile, Kapselung, Entdröhnung von Blechteilen, Schalldämpfer, Wahl schwingungstechnisch optimaler Drehzahlbereiche);

II. **Wahl geräuscharmer Arbeitsverfahren** (Beispiel: Blechbearbeitung mit Gummi oder Kunststoffhämmern statt mit Stahlhämmern; Übergang von me-

chanischen auf chemische Verfahren bei der Oberflächenbearbeitung).

III. **Verminderung von Maschinenlärm** durch geeignete Aufstellung der Maschinen (vom Gebäudekörper isolierte Fundamente, dämpfende Elemente wie Stahlfedern, Gummipuffer, Filz), durch Abschirmung und Kapselung. Hierdurch soll in erster Linie die Ausbreitung von Körperschall und die Ausstrahlung von Luftschall verhindert werden.

IV. **Zeitlich-räumliche Trennung der Arbeitenden von der Lärmquelle.**

V. **Tragen von Gehörschutzmitteln.** Persönlicher Gehörschutz ist als letztes Mittel der Lärmschutzmaßnahmen anzusehen. Er sollte nur dann eingesetzt werden, wenn nach den Maßnahmen I bis IV der Beurteilungspegel  $\geq 85$  dB(A) beträgt.

Bei Arbeiten im Lärmbereich muss laut Unfallverhütungsvorschrift (UVV Lärm) VBG 121 u. G 20:

- ab einem Beurteilungspegel  $\geq 85$  dB(A) vom Betrieb Gehörschutz zur Verfügung gestellt werden.  
Ab 90 dB(A) muss der Exponierte den Gehörschutz tragen.
- Es sind Vorsorgeuntersuchungen durchzuführen:
  - Erstuntersuchung (Siebtest)
  - Nachuntersuchung alle drei Jahre
  - Ergänzungsuntersuchung (en).

Lärmbereiche sind Bereiche ab einem Beurteilungspegel  $\geq 85$  dB(A), oder wenn der Höchstwert des nicht bewerteten Schalldruckpegels  $\geq 140$  dB beträgt.

Lärmbereiche sind zu **kennzeichnen**, ab einem Beurteilungspegel  $\geq 90$  dB(A), oder wenn der Höchstwert des nicht bewerteten Schalldruckpegels  $\geq 140$  dB beträgt

Gehörschutzmittel:

- Gehörschutzstöpsel/Watte werden in die Ohrenmulde oder den äußeren Gehörgang eingeführt. Verwendungsbereich bis 110 dB(A).
- Gehörschutzkapseln werden ähnlich wie Kopfhörer über das Ohr gesetzt. Verwendungsbereich bis 130 dB(A).
- Gehörschutzkappen/Lärmschutzanzüge bedecken außer der Ohrmuschel noch wesentliche Teile des Körpers. Verwendungsbereich über 130 dB(A).

### Lärmminderung am Beispiel einer Maschine

(Abbildung 17)

0. **Maschine auf Boden** (ungedämpft, ungedämmt)

1. **Elastische Aufstellung der Maschine**, durch die das Mitschwingen von Decken verhindert werden kann: Geringfügige Pegelminderung bei tiefen Frequenzen, da fast immer der direkt abgestrahlte Schall dominiert.

2. **Aufstellen eines Schallschirmes** (schallschluckend verkleidete Platte) möglichst nahe an der Lärmquelle: Im "Schallschatten" Pegelminderung nur bei mittleren bis hohen Frequenzen, da tieffrequenter Schall um den Schirm herum gebeugt wird.

3. **Vollständige Umkleidung der Maschine mit Schallschluckmaterialien:** Insgesamt wirkungsvollere Schalldämpfung. Aber poröse Schallschluckplatten lassen tieffrequenten Schall im hohen Maße durch.

4. **Vollständige Umkleidung der Maschine mit Schalldämmmaterial.** Die Kapselungen müssen völlig dicht sein, damit der Schall nicht austreten kann. Unter der Kapsel steigt der Schalldruck um 10 - 15 dB an. Jedoch außen wirkungsvollere Lärmminderung.

5. **Zusätzlich zu "4" elastische Lagerung der Maschine:** zusätzliche Pegelminderung von 5-10 dB vor allem im tieffrequenten Bereich gegenüber "4", da die Kapsel nicht mehr durch Körperschall über die Bodenverbindung angeregt wird.

6. **Zusätzlich zu "5" Innenverkleidung mit Schallschluckmaterial.** Noch weitere Absenkung.

### 6 Lärmmessung und -beurteilung

Vor und während der Messung ist zu beachten

- Messgeräte (siehe auch Abbildung 16)
  - Genauigkeitsklassen der Messgeräte
  - A-Bewertung
  - Frequenzanalyse: Oktav- oder Terzfilter
  - Messgeräte kalibrieren
- Messung
  - Überblick über die Geräuschsituation verschaffen
  - Messzeiten beachten (kennzeichnende Geräusche)
  - Mikrofon in Ohrnähe und Hauptblickrichtung; Höhe für stehende Personen: 1,6m ab Fußboden  
Höhe für sitzende Personen: 0,8m ab Sitzfläche

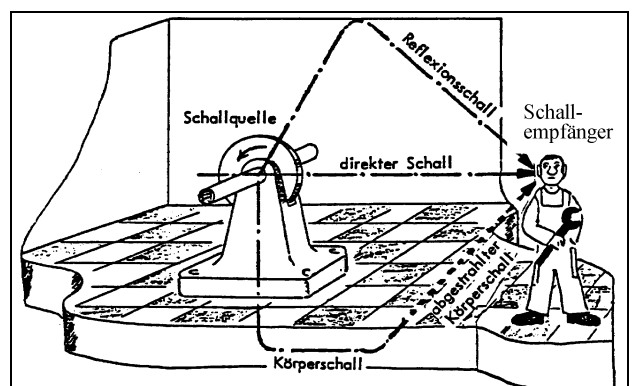
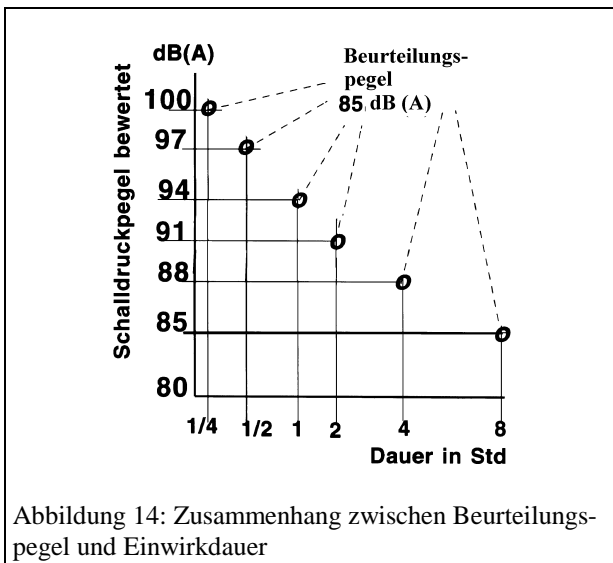
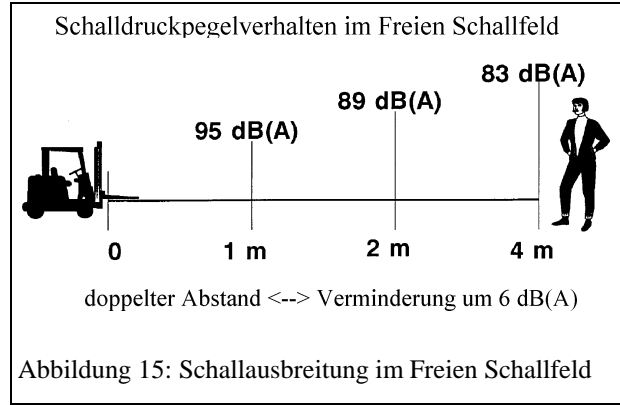
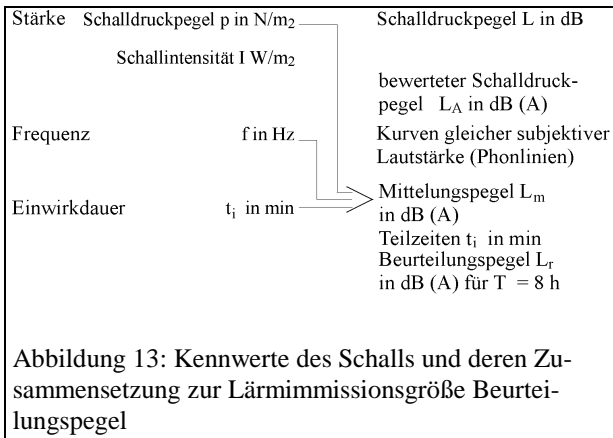


Abbildung 12: Schallausbreitung [JUNGKIND/NOHL 1986]



Der Beurteilungspegel bezieht sich auf die Gehörbelastung über den 8-Stunden-Arbeitstag (eine Schicht).

Im freien Schallfeld vermindert sich der Schalldruckpegel bei einer Verdopplung des Abstandes um 6 dB(A) (Abbildung 15). In Werkshallen um etwa 4 dB(A).

### 7 Normen und Vorschriften

#### DIN Normen

- 45 630 Grundlagen der Schallmessung
- 45 631 Berechnung des Lautstärkepegels aus dem Geräuschspektrum
- 45 641 Mittelungs- und Beurteilungspegel zeitlich schwankender Schallvorgänge
- 45 645 Einheitliche Ermittlung des Beurteilungspegels für Geräuschimmissionen

#### VDI Richtlinie

- 2058 Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörfähigkeit

#### Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)

- § 15  
In Arbeitsräumen ist der Schallpegel so niedrig zu halten, wie es nach der Art des Betriebes möglich ist. Der Beurteilungspegel am Arbeitsplatz darf höchstens betragen:
  - überwiegend geistige Tätigkeit 55 dB(A)
  - einfache oder überwiegend mechanische Bürotätigkeit 70 dB(A)
  - bei allen sonstige Tätigkeiten 85 dB(A); soweit dieser Beurteilungspegel nicht einzuhalten ist, darf er bis zu 5 dB(A) überschritten werden.

- Arbeitsplatz
  - genaue Arbeitsplatz-Daten angeben
- Anforderungen an Messgeräte und Messungen
- DIN 45630; 45641; 45645; 45655;
  - DIN IEC 651

Die Schallausbreitung kann über mehrere Wege erfolgen (Abbildung 12).  
Schallimmission = Schall/Lärm, der auf das menschliche Ohr einwirkt.

- 10 dB Schalldruckpegelerhöhung ist eine Verzehnfachung der Schallintensität (siehe Tabelle 1)
- Eine Maschine **90 dB (A)**
  - Zehn gleiche Maschinen **100 dB (A)**

3 dB Schalldruckpegelerhöhung ist eine Verdopplung der Schallintensität

Beurteilungspegel  $L_r$  in dB (A)  
Um die auf den Menschen einwirkende Schallbelastung zu erfassen, muss zusätzlich die Einwirkungsdauer (Länge der Zeit, in der der Mensch dem jeweiligen Schalldruckpegel  $L_A$  ausgesetzt ist) berücksichtigt wird (vgl. Abbildung 13 u. Abbildung 14).

**Unfallverhütungsvorschrift Lärm (UVV Lärm)**

(siehe auch Kap. 5,V (Tragen von Gehörschutz))

- Ermittlung des Beurteilungspegels aus Messungen des "Energieäquivalenten Dauerschallpegels" und aus dem Beurteilungspegel mit einem Impulszuschlag.
- Ermittlungspflicht für Lärmbereiche bereits ab 85 dB(A).
- 85 dB(A) ist Gehörschutz zur Verfügung stellen ab 90 dB(A) zutragen
- Lärmbereiche ausweisen
- Der Arbeitgebers hat die betroffenen Beschäftigten über die Gefahren des Lärms und über Minderungsmaßnahmen zu unterweisen.
- Forderung zur Aufstellung und Durchführung eines Lärminderungsprogramms.
- Gehörvorsorgeuntersuchung

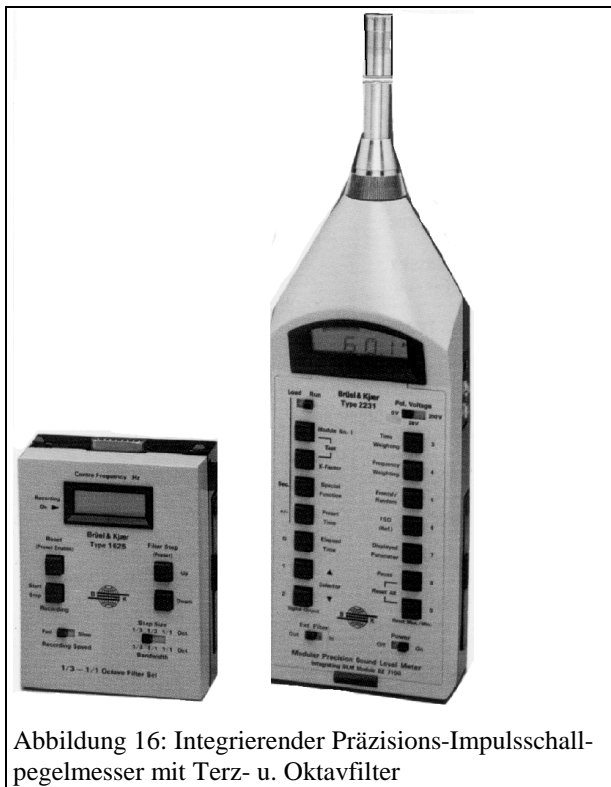
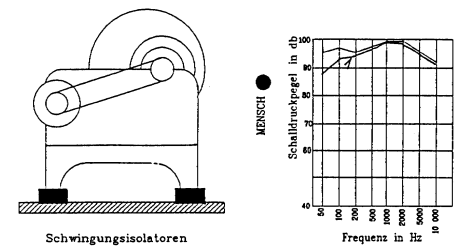
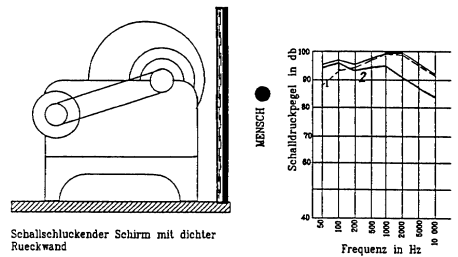


Abbildung 16: Integrierender Präzisions-Impulsschallpegelmesser mit Terz- u. Oktavfilter

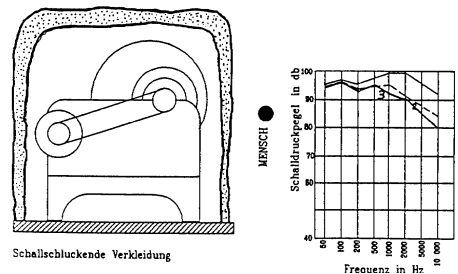
**1 ELASTISCHE AUFSTELLUNG**



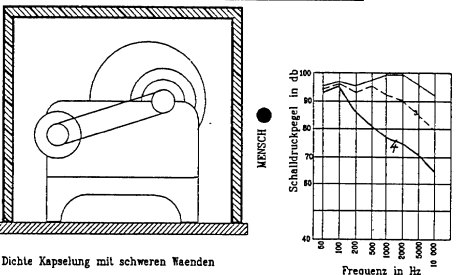
**2 AUFSTELLUNG EINES SCHALLSCHIRMES**



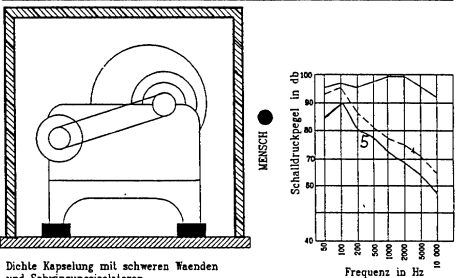
**3 UMKLEIDUNG MIT SCHALLSCHLUCKMATERIALIEN**



**4 UMKLEIDUNG MIT SCHALLDAEMM-MATERIAL**



**5 UMKLEIDUNG mit SCHALLDAEMM-MATERIAL u. ELASTISCHE AUFSTELLUNG**



**6 UMKLEIDUNG mit SCHALLDAEMM-MATERIAL u. ELASTISCHE AUFSTELLUNG u. SCHALLSCHLUCKMATERIAL**

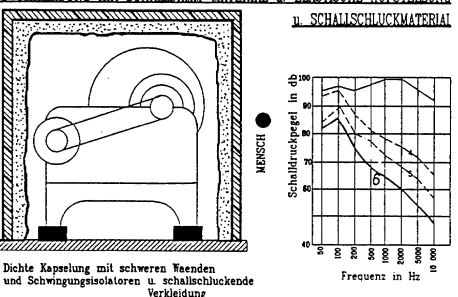


Abbildung 17: Beispiel einer Lärmminde- rung an einer Maschine