Gehörgefährdender Lärm am Arbeitsplatz

suva

Suva
Gesundheitsschutz
Bereich Physik
Postfach, 6002 Luzern

Auskünfte
Tel. 041 419 58 51
akustik@suva.ch

Download
www.suva.ch/44057.d

Titel
Gehörgefährdender Lärm am Arbeitsplatz

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – mit Quellenangabe gestattet.
Erstausgabe: Juli 1988
Überarbeitete Ausgabe: Juni 2018

Publikationsnummer
44057.d (nur als PDF erhältlich)

Das Modell Suva
Die vier Grundpfeiler der Suva

- Die Suva ist mehr als eine Versicherung; sie vereint Prävention, Versicherung und Rehabilitation.
- Die Suva wird von den Sozialpartnern geführt. Die ausgewogene Zusammensetzung im Suva-Rat aus Arbeitgeber-, Arbeitnehmer- und Bundesvertretern ermöglicht breit abgestützte, tragfähige Lösungen.
- Gewinne gibt die Suva in Form von tieferen Prämien an die Versicherten zurück.
- Die Suva ist selbsttragend; sie erhält keine öffentlichen Gelder.

Inhalt

1	**Einleitung**	**5**
2	**Akustische Grundbegriffe**	**7**
2.1	Schallentstehung	7
2.2	Schalldruck	7
2.3	Frequenz	7
2.4	Schallwellen und Schallausbreitung	9
2.5	Schallleistung	10
2.6	Schalldruckpegel	11
2.7	Frequenzbewertete Schalldruckpegel	12
2.8	Zeitlich integrierte Schalldruckpegel	13
2.8.1	Äquivalenter Dauerschallpegel L_{eq}	13
2.8.2	Schallexpositionspegel L_E	13
2.9	Schallleistungspegel	14
2.10	Frequenzanalysen	15
2.11	Schallsignale	16
2.11.1	Ton, Klang, Geräusch	16
2.11.2	Dauerlärm, intermittierender Lärm, Impulslärm	17
2.12	Schallfelder	18
2.12.1	Freies Schallfeld	18
2.12.2	Diffuses Schallfeld	19
2.12.3	Schallfeld in Industrieräumen	19
3	**Das Gehör**	**21**
3.1	Das Ohr und der Hörvorgang	21
3.2	Schallempfindung	22
3.3	Die audiometrische Prüfung des Gehörs	23
3.4	Einfluss des Alters auf das Hörvermögen	24
3.5	Schädigung des Gehörs durch Lärm	24
3.6	Die Beurteilung des Hörvermögens	28
3.7	Andere Auswirkungen des Lärms	28
3.7.1	Sprachliche Verständigung und Signalwahrnehmung	28
3.7.2	Lärmbelästigung	28
3.7.3	Extraaurale Auswirkungen	30
4	**Vorschriften und Grenzwerte**	**31**
4.1	Übersicht	31
4.2	Die Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten	32
4.3	EKAS-Richtlinie 6508 über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit	35
4.3.1	Besondere Gefahren	35
4.3.2	Gefahrenermittlung	35
4.3.3	Risikoanalyse	35
4.3.4	Mitwirkung der Arbeitnehmenden	35
4.4	Gesundheitsvorsorge und Plangenehmigung	36

4.5	Sicherheit von Produkten	36
4.6	Vorschriften über Aussenlärmimmissionen	36
4.7	Grenzwerte zum Schutz vor gehörgefährdendem Lärm	37
4.7.1	Dauerschall	37
4.7.2	Impulsartiger Schall	37
4.7.3	Massnahmen zum Schutz des Gehörs	37
4.8	Richtwerte für belästigenden Lärm am Arbeitsplatz	38
4.8.1	Tätigkeitsbezogene Richtwerte	38
4.8.2	Richtwerte für Hintergrundgeräusche in Arbeitsräumen	39
4.9	Weitere Lärmbeurteilungskriterien	39
4.9.1	Ultraschall	39
4.9.2	Infraschall	39
4.10	Schall- und Laserverordnung	39
4.11	SIA-Norm 181, Schallschutz im Hochbau	39
4.12	Lärmdeklaration nach Maschinenrichtlinie	40
4.13	Massnahmen zum Schutz des Gehörs nach der EU-Lärm-Richtlinie	40
5	**Schallmesstechnik**	**42**
5.1	Ziel der Lärmmessung	42
5.2	Elemente von Schallmessgeräten	42
5.3	Geräte für die Messung und Analyse von Lärm am Arbeitsplatz	45
5.4	Praktische Hinweise für Schallmessungen	48
5.5	Lärmmessungen der Suva	50
6	**Beurteilung der Lärmbelastung**	**51**
6.1	Bestimmung des Lärmexpositionspegels L_{EX}	51
6.1.1	Grundlagen	51
6.1.2	Berechnung des Lärmexpositionspegels L_{EX}	51
6.1.3	Tagesexpositionspegel und Jahresexpositionspegel	53
6.1.4	Praktische Hilfsmittel zur Bestimmung des Lärmexpositionspegels L_{EX}	53
6.1.5	Rechenbeispiele	53
6.2	Beurteilung der Gehörbelastung durch Impulslärm	56
6.2.1	Grundlagen	56
6.2.2	Ermittlung der Beurteilungsgrössen	56
6.2.3	Anwendung der Beurteilungskriterien	56
6.3	Beurteilung von Arbeitsplätzen	57
6.3.1	Risikobeurteilung mit Schallpegeltabellen der Suva	57
6.3.2	Messungen durch den Betrieb	57
6.3.3	Messungen durch die Suva in einzelnen Betrieben	58
6.4	Schallmessprotokoll zu Messungen in einem Betrieb	58
6.5	Schallpegeltabellen der Suva	60
6.5.1	Tätigkeitsbezogene Lärmexpositionspegel	60
6.5.2	Äquivalente Dauerschallpegel L_{eq}	60

7	**Technische Lärmschutzmassnahmen**	**62**
7.1	Rechtliche Grundlagen	62
7.2	Grundsätze der Lärmbekämpfung	62
7.3	Die Strukturierung der Lärmbekämpfungsmassnahmen	63
7.4	Lärmquelle: 1. Priorität	63
7.4.1	Reduktion der Schallentstehung	63
7.4.2	Reduktion der Schallübertragung	64
7.4.3	Reduktion der Schallabstrahlung	65
7.4.4	Kapselungen	65
7.4.5	Transport und Materialumschlag	65
7.5	Arbeitsraum: 2. Priorität	67
7.5.1	Räumliche Unterteilung	67
7.5.2	Bau- und raumakustische Massnahmen	67
7.6	Reduktion der Schallbelastung: 3. Priorität	69
7.6.1	Arbeitsorganisation	69
7.6.2	Persönliche Schutzausrüstung	69
8	**Persönliche Gehörschutzmittel**	**70**
8.1	Wenn technische Massnahmen nicht genügen	70
8.2	Praktische Umsetzung des Gehörschutz-Obligatoriums	70
8.3	Information und Instruktion	70
8.4	Den optimalen Gehörschutz finden	71
8.5	Anwendung im Alltag	72
8.6	Signalwahrnehmung mit Gehörschutz	73
8.7	Weitere Informationen	74
9	**Verhütung lärmbedingter Gehörschäden**	**75**
9.1	Der Lärmschutz im betrieblichen Sicherheitssystem	75
9.1.1	Lärmschutzkonzept im Betrieb	75
9.1.2	Verhalten bei einem Knalltrauma	75
9.1.3	Vorgehen bei Verdacht auf einen lärmbedingten Gehörschaden	76
9.2	Die Gehörschadenprophylaxe der Suva	77
9.2.1	Gehöruntersuchungen im Audiomobil	77
9.2.2	Welche Personen werden im Audiomobil untersucht?	77
9.2.3	Organisation und Ablauf der Gehöruntersuchungen	79
9.2.4	Die Untersuchung im Audiomobil	80
9.3	Anteil der Lärmexponierten in verschiedenen Branchen	81
9.4	Entwicklung der beruflichen Lärmbelastung	81
9.5	Erfolgskontrolle der Gehörschadenprophylaxe	82
9.6	Auch Lärm in der Freizeit ist schädlich	82

10	**Zusammenfassung**	**83**
	Anhang 1	
	Weiterführende Informationen	**85**
	Literatur	85
	Gesetzestexte	85
	Normen	85
	Anhang 2	
	Bezeichnung von Schallmessgrössen	**86**
	Anhang 3	
	Physikalische und akustische Grössen und Masseinheiten	**87**

1 Einleitung

1 Arbeitsplätze mit hoher Lärmbelastung auf einer Tunnelbaustelle.

Wer nicht gut hört, hat Mühe mit der sprachlichen Verständigung und gerät leicht in soziale Isolation. Kommunikation ist lebensnotwendig. Nicht ohne Grund wird das Gehör auch allgemein als wichtigstes Kommunikationsorgan bezeichnet.

In der Schweiz sind rund 170 000 Personen in gegen 18 000 Unternehmen gehörgefährdendem Lärm ausgesetzt. Die Suva engagiert sich seit Jahrzehnten für die Prävention von Gehörschäden. Sie hat den gesetzlichen Auftrag, die Anwendung der Vorschriften über die Verhütung von Berufskrankheiten in allen Betrieben der Schweiz zu überwachen.

In den letzten Jahrzehnten wurden bei der Prävention von Gehörschäden beachtliche Erfolge erzielt. Während 1973 noch 37 Prozent der von der Suva untersuchten Personen eine leichte oder deutliche Schädigung des Gehörs aufwiesen, waren es 2011 nur noch 8 Prozent. Dies entspricht einem Rückgang um fast 80 Prozent.

Im Jahr 1965 wurden in der Schweiz Lärmgrenzwerte für industrielle Arbeitsplätze festgelegt. In der Folge fand die technische Lärmbekämpfung im Wesentlichen auf drei Ebenen statt:

- Einführung neuer, leiserer Arbeitsverfahren
- Kapselung von Maschinen
- Schallschutzmassnahmen in den Arbeitsräumen

Allerdings ist die Umsetzung der technischen Lärmbekämpfungsmassnahmen noch lange nicht abgeschlossen. Sie bleibt eine Daueraufgabe.

Bereits 1976 führte die Suva den 100 000. Gehörtest in einem ihrer Audiomobile durch. Diese Kontrollen haben die Motivation der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer, einen Gehörschutz zu tragen, beträchtlich erhöht. Heute besuchen die Spezialisten für Audiometrie der Suva jährlich 4000 Unternehmen und überprüfen in fünf Audiomobilen das Hörvermögen von gegen 40 000

Personen. Über 90 Prozent der Untersuchten tragen heute einen Gehörschutz.

Seit dem ersten Erscheinen dieser Broschüre im Jahre 1988 ist in der Lärmbekämpfung eine erfreuliche Entwicklung zu verzeichnen:

- Das Interesse an der Lösung von Lärmproblemen ist in weiten Kreisen gewachsen.
- Die rechtlichen Grundlagen zur Gestaltung von Arbeitsräumen wurden erweitert (Arbeitsgesetz, Verordnung 3 und 4).
- Die raumakustischen Eigenschaften von Werkstätten und Fabrikationshallen sind besser geworden, obschon gerade hier noch ein Nachholbedarf besteht.
- An vielen Arbeitsplätzen ist der Lärmpegel dank lärmarmer Maschinen und neuer Verfahren deutlich gesunken.
- Immer mehr Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer tragen an lärmintensiven Arbeitsplätzen einen Gehörschutz.
- Es sind neue und komfortablere Gehörschutzmittel erhältlich, besonders
  – Pfropfen mit erheblich besseren Dämmeigenschaften
  – Pfropfen mit linearen Dämmeigenschaften, die sich speziell für Musiker eignen
  – aktive Gehörschutzmittel (Pfropfen und Kapseln), die nur bei Lärmeinwirkungen über 80 dB wirksam werden
- Es werden handliche, preiswerte und bedienungsfreundliche Schallmessgeräte angeboten, die es auch Nichtfachleuten ermöglichen, einfache Lärmmessungen durchzuführen.

Mit dem Inkrafttreten der EKAS-Richtlinie über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit auf den 1. Januar 2000 hat sich die rechtliche Lage der Lärmbekämpfung geändert und die Durchsetzung von wirksamen Massnahmen erheblich verbessert. Im Rahmen der betrieblichen Sicherheitssysteme wird der Lärm als besondere Gefahr ausdrücklich erwähnt. Der Arbeitgeber wird dazu verpflichtet, Massnahmen zum Schutz der Gesundheit der Mitarbeitenden zu treffen.

Die Kriterien zur Beurteilung der Lärmbelastung wurden in den letzten Jahren laufend den aktuellen

2 Bei vielen industriellen Produktionsprozessen sind Personen erheblichen Lärmpegeln ausgesetzt (Bild: Mitarbeiter an einer Flaschenabfüllanlage).

Normen, Richtlinien und Erkenntnissen angepasst.

Die Fachleute der Suva befassen sich auch mit den gehörgefährdenden Lärmbelastungen in der Freizeit, dem belästigenden Lärm am Arbeitsplatz sowie mit der Beurteilung der akustischen Eigenschaften von Arbeitsräumen und den zulässigen Schallemissionen von Maschinen. Diese Themen sind nicht Gegenstand der vorliegenden Publikation. Informationen dazu finden Sie in Anhang 1 und unter www.suva.ch/laerm.

Diese Broschüre enthält Grundlagen und Detailinformationen über den Lärm, seine Auswirkungen und die Lärmbekämpfung. Die Inhaltsübersicht und die Tabellen in Anhang 2 und 3 ermöglichen es den Leserinnen und Lesern, die sie interessierenden Themen rasch zu finden.

2 Akustische Grundbegriffe

2.1 Schallentstehung

Als Schall bezeichnet man Schwingungen eines elastischen Mediums (Gase, Flüssigkeiten, feste Körper). Ohne Materie – im Vakuum – kommt kein Schall vor.

Luftschall entsteht direkt,
- wenn ein Gas plötzlich sein Volumen ändert (Explosion, Detonation, Zerplatzen eines Ballons)
- wenn sich in strömenden Gasen oder an schnell bewegten Körpern Wirbel bilden (ausströmende Druckluft, Windgeräusche)
- wenn Luftsäulen in Schwingung geraten (z. B. in Orgelpfeifen oder Flöten).

Von indirekter Schallentstehung spricht man, wenn sich Schwingungen fester Körper (wie Maschinenelemente, Glocken, Stimmgabeln, Lautsprechermembranen) auf die angrenzende Luft übertragen (Bild 3) und dort Schall verursachen.

2.2 Schalldruck

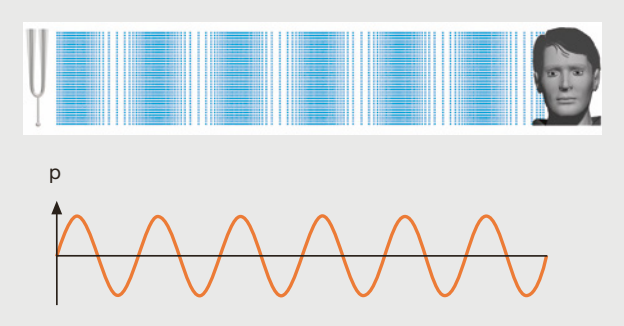
Druck wird in der Einheit Pascal [Pa] angegeben (1 Pa = 1 N/m^2 = 10 µbar). Die Bewegungen der Luftteilchen (Bild 3) verursachen kleine Druckschwankungen, die sich dem – viel grösseren – statischen (atmosphärischen) Luftdruck überlagern:

Atmosphärischer Druck	~ 100 000 Pa
Schalldruckmaximum von Sprache (in 1 m Distanz zum Sprechenden)	~ 1 Pa
Druckluftänderung bei einer Höhenänderung von 8 cm	~ 1 Pa

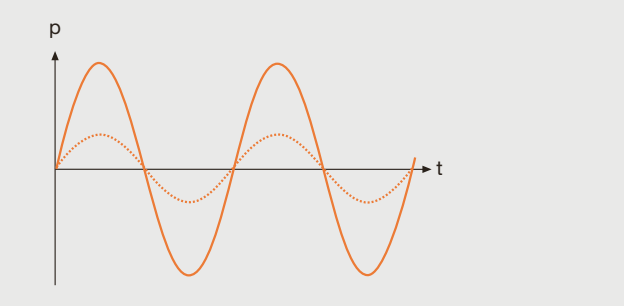
Bei einer einfachen Anregung – zum Beispiel durch eine Stimmgabel – pendelt der Schalldruck um den Ruhewert, es entsteht eine periodische sinusförmige Schallschwingung (Bild 4). Je grösser die Amplitude ist, desto lauter erscheint der Ton.

2.3 Frequenz

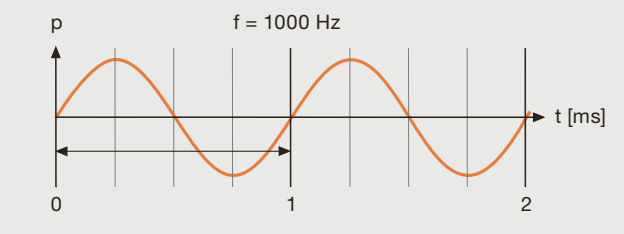
Die Zeit, bis sich bei einer periodischen Schallschwingung ein gewisser Zustand wiederholt, wird **Periode T** genannt (Bild 5). Die Zahl solcher Perioden (oder «Schwingungen») je Zeiteinheit wird als Tonhöhe wahrgenommen und heisst **Frequenz f**. Sie wird in Hertz [Hz] (= Schwingungen pro Sekunde) angegeben (Formel 1).



3 Schallentstehung und -ausbreitung.



4 Amplitude: Ton 1 (durchgezogen) ist lauter als Ton 2 (gestrichelt).



5 Periode und Frequenz: Schwingung mit Periode T = 1 ms, das heisst 1000 Schwingungen pro Sekunde = 1000 Hz.

1 kHz = 1000 Hz = 1000 Schwingungen pro Sekunde: physikalischer Normalton.

Im Sinne einer Konvention bezeichnet man den Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz als hörbaren Schall. Tiefere Frequenzen fallen in den Infraschallbereich, Frequenzen über 20 kHz gelten als Ultraschall (Bild 6).

Der Frequenzumfang von Musik mit Schlaginstrumenten erstreckt sich ungefähr von 30 Hz bis 16 kHz. Der internationale Stimmton (Kammerton a') liegt bei 440 Hz. Sprache spielt sich etwa zwischen 100 Hz und 8 kHz ab, wobei die Zischlaute, insbesondere «s» und «f», die höchsten Frequenzen beinhalten. Die Übertragung über das Telefonnetz ist aber im Frequenzumfang auf 300 bis 3500 Hz beschränkt.

Infraschall wird sowohl von natürlichen (Donner, Meereswellen usw.) wie auch technischen Quellen (u. a. Schiffsdieselmotoren, Jetflugzeuge) erzeugt.

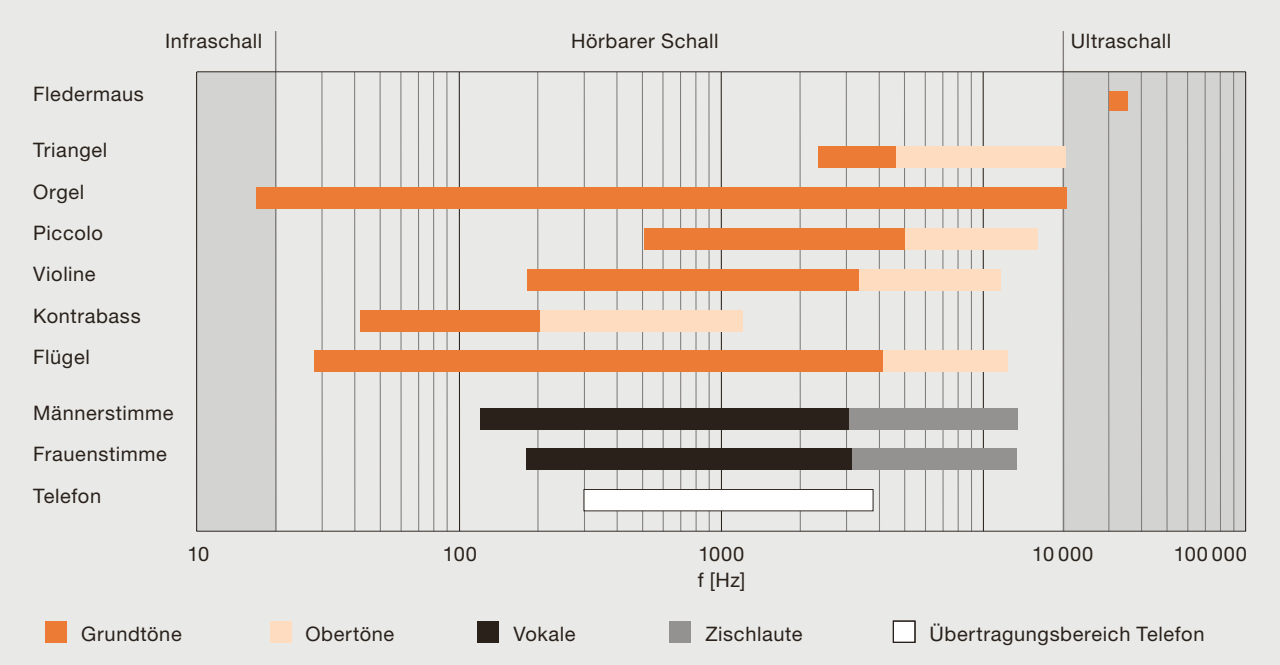
Ultraschall kommt in Natur und Technik vor. Fledermäuse beispielsweise orientieren sich mit Hilfe von Ultraschall. In der Industrie wird Ultraschall zum Reinigen von Werkstücken in Bädern, zum Verschweissen von Kunststoffen und zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung verwendet, im medizinischen Bereich für Diagnostik und Therapie[1].

[1] Vgl. Suva-Publikation 66077.d Ultraschallanlagen als Lärmquellen»

$$f = \frac{1}{T}$$

f: Frequenz [Hz]
T: Periode [s]

Formel 1



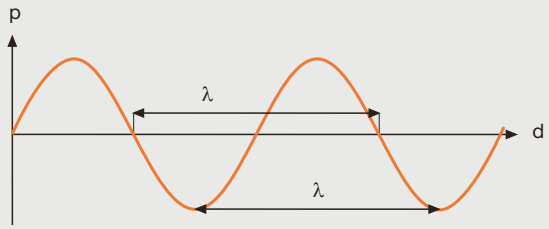
6 Frequenzbereiche

2.4 Schallwellen und Schallausbreitung

Ähnlich wie sich nach dem Eintauchen eines Steins konzentrische Wellen auf der Wasseroberfläche ausbreiten, pflanzen sich die Druckschwankungen – zum Beispiel nachdem ein Ballon zerplatzt ist – in der Luft nach allen Richtungen fort. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser **Schallwellen** in der Luft, das heisst die **Schallgeschwindigkeit c**, hängt praktisch nur von der Temperatur ab.

Sie beträgt bei 0 °C 331 m/s und bei 20 °C 343 m/s oder 1225 km/h.

Bei der Ausbreitung der Schallwelle ändert sich die Frequenz nicht. Die Distanz zwischen zwei gleichen Zuständen einer Schallwelle ist die **Wellenlänge** λ (Bild 7).



7 Wellenlänge

Da sich die Schallwelle mit Schallgeschwindigkeit fortpflanzt, gilt:

$$\lambda = \frac{c}{f} \qquad f = \frac{c}{\lambda} \qquad c = \lambda \cdot f$$

λ: Wellenlänge [m]
c: Schallgeschwindigkeit [m/s]
f: Frequenz [Hz = 1/s]

Formel 2 bis 4

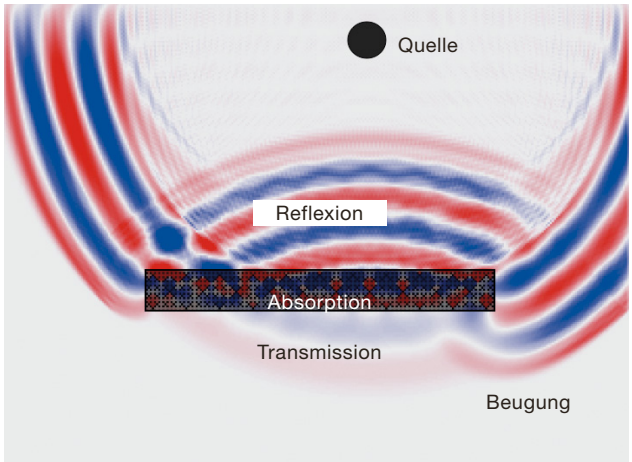
Die Wellenlänge wird also mit zunehmender Frequenz kleiner. Schallwellen im hörbaren Bereich (20 Hz bis 20 kHz) weisen in der Luft Wellenlängen zwischen 17 Meter und 1,7 Zentimeter auf (Verhältnis 1000:1, Tabelle 1).

Schall, der auf ein Hindernis trifft, kann – wie Bild 8 veranschaulicht – zurückgeworfen werden (Reflexion), vom Material geschluckt werden (Absorption), das Hindernis durchdringen (Transmission) oder es umgehen (Beugung).

Reflexion, Absorption, Transmission und Beugung hängen wesentlich von der Wellenlänge (und somit von der Frequenz) ab. Kurze Wellen (hohe Frequenzen) lassen sich schon mit geringer Schichtdicke absorbieren. Lange Wellen (tiefe Frequenzen) hingegen durchdringen oder umgehen ein Hindernis leichter. Ein Schallschatten entsteht nur hinter einem Objekt, dessen Abmessungen wesentlich grösser sind als die Wellenlänge des Schallsignals.

Frequenz	Wellenlänge
20 kHz	1,7 cm
10 kHz	3,4 cm
1 kHz	34,0 cm
100 Hz	3,4 m
20 Hz	17,0 m

Tabelle 1



8 Schall an einem Hindernis (Grafik erstellt mit dem Programm «Virtual Wave Tank»; Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen, Dresden; www.eas.iis.fraunhofer.de)

2.5 Schallleistung

Die Lärmentwicklung einer Schallquelle wird am besten durch die abgestrahlte **Schallleistung** (Bild 9) beschrieben. Diese wird in der Einheit Watt (W) angegeben, wie sie auch für mechanische, elektrische und thermische Leistungen verwendet wird. Beispiele: Ein Motor leistet 74 kW = zirka 100 PS; ein elektrischer Heizofen setzt 500 W in Wärme um.

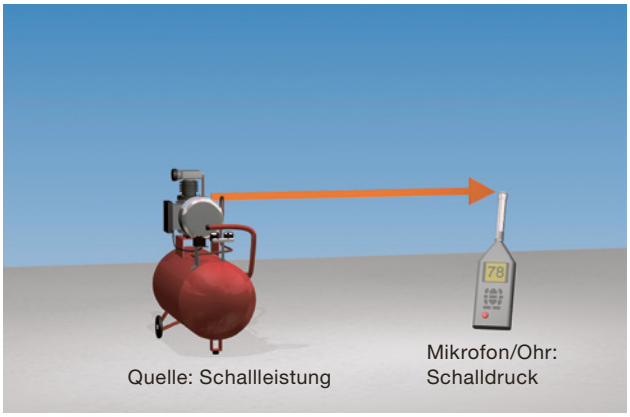
Die akustischen Leistungen üblicher Schallquellen sind verhältnismässig gering, wie Tabelle 2 zeigt. Anderseits belegen diese Werte, wie empfindlich das Gehör ist. Die von einer Quelle abgegebene **Schallenergie** ergibt sich aus der Multiplikation der mittleren Leistung mit der Dauer der Abstrahlung.

Kühlschrank	$1 \cdot 10^{-8}$ W	10 nW
Elektrorasierer	$1 \cdot 10^{-6}$ W	1 µW
moderner Elektrorasenmäher	$1 \cdot 10^{-5}$ W	10 µW
Geige (fortissimo, sehr laut)	$1 \cdot 10^{-3}$ W	1 mW
pneumatischer Abbauhammer	$1 \cdot 10^{-1}$ W	0,1 W
Orgel (fortissimo)	$1 \cdot 10^{1}$ W	10 W
Strahltriebwerk (Zivilflugzeug)	$1 \cdot 10^{4}$ W	10 kW

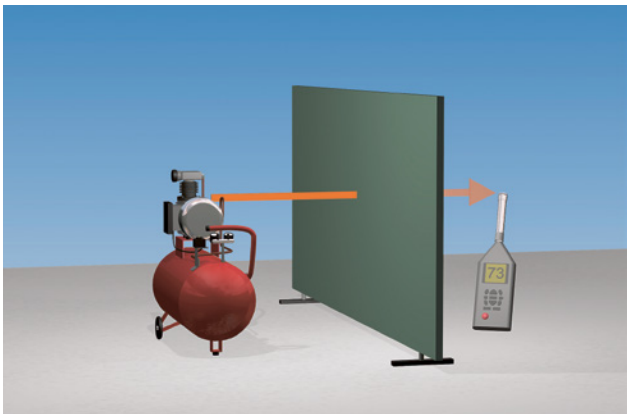
Tabelle 2 Schallleistungen

Ein Messmikrofon wie auch das Ohr reagieren auf den Schalldruck, der damit sowohl direkt messbar als auch für die Schallempfindung entscheidend ist. Schallleistung und Schallenergie verhalten sich proportional zum Quadrat des Schalldrucks. Bei einer Vervierfachung der Schallleistung erhöht sich der Schalldruck auf das Doppelte.

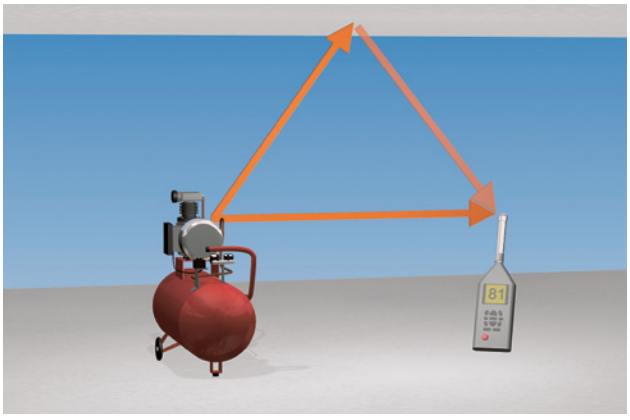
Der Schalldruck, den man an einem bestimmten Punkt misst, hängt davon ab,
- welche Schallleistung die Quelle abstrahlt (Bild 9a)
- ob der Schall gleichmässig nach allen Seiten abgestrahlt wird (eine Schallbündelung erhöht bei gleicher Schallleistung den Schalldruck in der Hauptrichtung)
- wie weit die Quelle entfernt ist (im freien Schallfeld



9 a



9 b



9 c

9 Faktoren, die den Schalldruck an einem bestimmten Ort beeinflussen.

a Direktschall
b Abschattung durch Hindernis
c Reflexion

halbiert sich der Schalldruck bei doppelter Distanz)
- ob sich Hindernisse zwischen Quelle und Messpunkt befinden (Bild 9b; diese verringern den Schalldruck frequenzabhängig)
- ob starke Reflexionen am Boden, an den Wänden oder der Decke auftreten (Bild 9c; diese erhöhen im Allgemeinen den Schalldruck)
- ob andere Schallquellen vorhanden sind (diese erhöhen ebenfalls den Schalldruck)

2.6 Schalldruckpegel

Das gesunde Ohr eines Menschen kann einen riesigen Schalldruckbereich verarbeiten:

Schalldruck bei der Hörschwelle:
20 µPa = $2 \cdot 10^{-5}$ Pa = 0,00002 Pa
Schalldruck bei der Schmerzschwelle:
20 Pa = $2 \cdot 10^{1}$ Pa

Diese Schalldruckwerte verhalten sich wie 1 zu 1 Million, sind für das praktische Arbeiten ziemlich unübersichtlich und entsprechen auch in keiner Weise dem Lautstärkeeindruck.

Durch die Einführung des **Schalldruckpegels** in Dezibel (dB) lässt sich dieser Wertebereich verkürzen. Die Einheit Dezibel (= 1/10 Bel), benannt nach A. G. Bell (1847–1922), dem die Erfindung des Telefons zugeschrieben wird, stammt aus der Nachrichtentechnik, in welcher der Pegel als Logarithmus aus dem Verhältnis einer Grösse zu einer gleichartigen Bezugsgrösse definiert wird. Wendet man dieses Prinzip auf den Schalldruck an und setzt ihn ins Verhältnis zum Schalldruck bei der Hörschwelle (Bezugswert), so gelangt man zur Definition des Schalldruckpegels oder **Schallpegels**. (Im Sinne einer Konvention steht die Kurzform «Schallpegel» jeweils für «Schalldruckpegel», aber nie für «Schallleistungspegel».)
Anmerkung: Der Faktor 10 tritt bei leistungsproportionalen Grössen auf, also bei Schallleistung, -energie, -intensität oder beim quadrierten Schalldruck, der Faktor 20 beim Schalldruck und dazu proportionalen Grössen (elektrische Spannung usw.).

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} \text{ [dB]} \qquad L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \text{ [dB]}$$

L_p: Schalldruckpegel in Dezibel [dB]
p: gemessener Schalldruck
p_0: Bezugsschalldruck (Hörschwelle), $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Formel 5 und 6

Typische Schalldruckpegel und die entsprechenden Schalldruckwerte sind in Bild 10 zusammengestellt.

L[1]	p
154 dB[2]	1000 Pa
134 dB	100 Pa
114 dB	10 Pa
94 dB	1 Pa
74 dB	100 mPa
54 dB	10 mPa
34 dB	1 mPa
14 dB	100 µPa
0 dB	20 µPa

10 Typische Schalldruckwerte p und Schalldruckpegel L.

[1] gemessen mit der Frequenzbewertung A (siehe Ziffer 5.2);
[2] Kurzzeitspitzenwerte beim Ohr (Zeitkonstante «Peak», siehe Ziffer 5.2)

Bei mehreren gleichzeitig betriebenen Schallquellen summieren sich die Schallleistungen. Der Gesamtschallpegel von n Maschinen mit demselben Einzelpegel L_1 ergibt sich aus Formel 7:

$$L_{total} = L_1 + 10 \lg n \text{ [dB]}$$

Formel 7

Tabelle 3 zeigt, wie sich der Schalldruckpegel bei einer Vervielfachung der Anzahl gleicher Quellen erhöht. Beispiel: Werden statt einer Schallquelle zehn solche Schallquellen betrieben (zehnfache Schallleistung), so ergibt sich der dreifache Schalldruck, und der Schalldruckpegel steigt um 10 dB an.

Anzahl gleicher Schallquellen	Schall-leistung	Schall-druck	Schall-pegel
	× 100	× 10	+20 dB
	× 10	× 3	+10 dB
	× 4	× 2	+6 dB
	× 2	× 1,4	+3 dB
	× 1	× 1	+0 dB

Tabelle 3 Erhöhung des Schalldruckpegels bei einer Vervielfachung der Anzahl gleicher Quellen

Unterscheiden sich die Pegel der einzelnen Schallquellen voneinander, so addieren sich deren Schallleistungen. Aus der summierten Schallleistung wird dann wieder ein Pegel gebildet (Formel 8).

$$L_{total} = 10 \lg \left(10^{0,1 \cdot L_1} + 10^{0,1 \cdot L_2} + \ldots + 10^{0,1 \cdot L_n} \right) \text{ [dB]}$$

Formel 8

Anstelle einer Berechnung mit Formel 8 können die Einzelpegel auch in ein Excel-Berechnungsformular (www.suva.ch/laerm) eingegeben werden.

$L_1 - L_2$	K
0 bis 1 dB	3 dB
2 bis 3 dB	2 dB
4 bis 8 dB	1 dB
mehr als 9 dB	0 dB

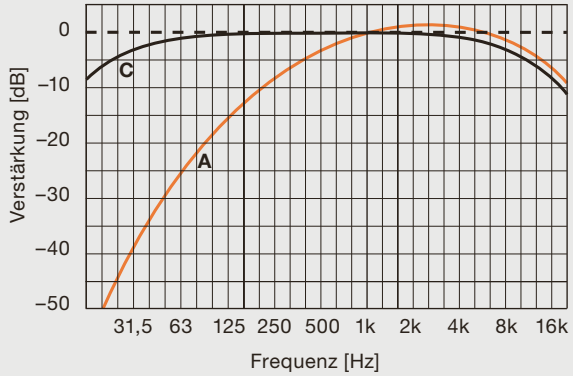
Tabelle 4 Addition von Schallpegeln unter der Bedingung, dass L_1 grösser als L_2 ist.

Für Abschätzungen kann Tabelle 4 verwendet werden: Aufgrund der Differenz der Einzelschallpegel $L_1 - L_2$ ergibt sich der Wert K (gerundet auf ganze dB), der zum höheren Pegel zu addieren ist, um den Gesamtpegel zu erhalten. Beispiel: Zwei Schallquellen, deren Einzelpegel 90 und 84 dB betragen (das heisst $L_1 - L_2$ = 6 dB), ergeben zusammen einen Pegel, der um K = 1 dB über dem höheren Einzelpegel liegt, also bei 91 dB.

2.7 Frequenzbewertete Schalldruckpegel

Um die unterschiedliche Empfindlichkeit des Gehörs in den verschiedenen Frequenzbereichen (siehe Ziffer 3.1) zu berücksichtigen – mindestens annähernd und vereinfacht –, verwendet man normierte Bewertungsfilter nach der Norm IEC [2] 61672-1. Zur Beurteilung der

[2] IEC = International Electrotechnical Commission



11 Bewertungsfilter A und C

Gehörgefährdung ist die A-Bewertung am besten geeignet (Bild 11).

2.8 Zeitlich integrierte Schalldruckpegel

Es ist sinnvoll, als Kennwert für ein schwankendes Schallsignal einen Mittelungspegel zu verwenden, denn für die Gefährdung des Gehörs ist vor allem die insgesamt einwirkende Schallenergie ausschlaggebend.

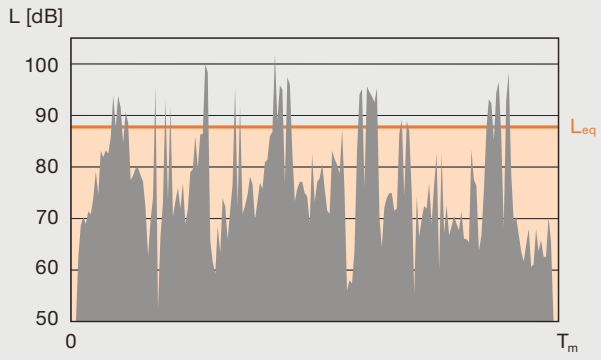
2.8.1 Äquivalenter Dauerschallpegel L_{eq}

Der äquivalente Dauerschallpegel $\mathbf{L_{eq}}$ (Bild 12) ist energiemässig gleichwertig wie der variable Schalldruckpegel. Bezugszeit ist dabei die jeweilige Messzeit.

$$L_{eq} = 10 \lg \left(\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad [dB]$$

T_m : Messzeit
L_{eq}: äquivalenter Dauerschallpegel

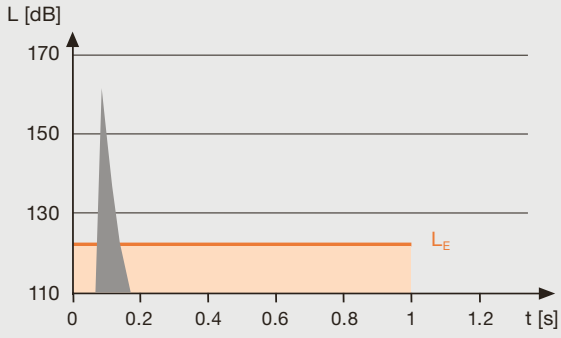
Formel 9



12 Zeitlicher Verlauf des Schalldruckpegels L(t) und äquivalenter Dauerschallpegel L_{eq}

2.8.2 Schallexpositionspegel L_E

Der Schallexpositionspegel $\mathbf{L_E}$ (Sound exposure level, auch als SEL abgekürzt) stellt ebenfalls einen energiemässigen Mittelungspegel dar, doch verwendet man als Bezugszeit unabhängig von der tatsächlichen Messzeit immer eine Sekunde (Bild 13).



13 Schallexpositionspegel L_E

$$L_E = 10 \lg \left(\frac{1}{T_1} \int_0^{T_m} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad [dB]$$

T_m: Messzeit
T_1 : Bezugszeit, T_1 = 1 Sekunde

Formel 10

Deshalb steigt der L_E bei kontinuierlichem Signal an, bleibt aber nach einem Schallimpuls, der genügend aus dem Grundpegel herausragt, konstant. Er ist ein Mass für die Schallenergie eines Ereignisses und eignet sich damit vor allem zur Beurteilung von Knall- oder anderen Einzelereignissen (Bild 13).

Der L_E steigt mit der Anzahl Schüsse n (oder anderer gleichartiger Schallereignisse) gemäss Formel 11:

$$L_E = L_{E,1} + 10 \lg n$$

Formel 11

Beispiel: Ein Sturmgewehrknall erreicht am Ohr des Schützen L_E = 129 dB, eine Schiessübung von 40 Schuss ergibt also L_E = 145 dB.

$$L_E = L_{eq} + 10 \lg T_m \quad [dB]$$

Formel 12

Dauerschallpegel L_{eq} und Schallexpositionspegel L_E sind über die Messzeit T_m miteinander verknüpft (Formel 12).

Zum Beispiel ergibt sich der auf 8 Stunden bezogene L_{eq} aus dem L_E eines Impulses ($L_{E,1}$) und der Impulszahl n:

$$L_{eq,8h} = L_{E,1} + 10 \lg n - 44{,}6 \ [dB]$$

Formel 13

Der Pegelabzug von 44,6 dB entspricht 10 lg 28 800 (8 Stunden = 28 800 Sekunden).

2.9 Schallleistungspegel

Analog zum Schalldruckpegel kann aus der Schallleistung einer Quelle (siehe Ziffer 2.5) ein Schallleistungspegel L_W gebildet werden:

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0} \ [dB]$$

W : Schallleistung [W]
W_0: Bezugsschallleistung,
$W_0 = 1$ pW $= 10^{-12}$ W

Formel 14

Tabelle 5 zeigt die Schallleistungen und Schallleistungspegel verschiedener Objekte.

Der Schalldruckpegel L_p lässt sich in einem freien Schallfeld und bei allseitiger Abstrahlung einer Punktquelle (Bild 14, kugelförmige Schallausbreitung) wie folgt aus dem Schallleistungspegel L_W berechnen:

$$L_p = L_w - 20 \lg \frac{r}{r_0} - 11 \ [dB]$$

r : Abstand [m]
r_0: Bezugsdistanz, $r_0 = 1$ m

Formel 15

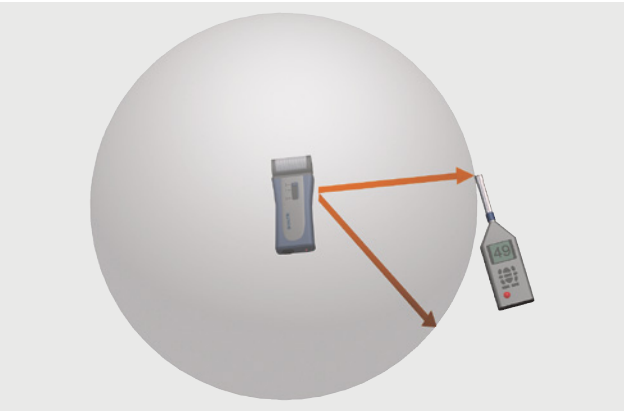
Der Wert von 11 dB ergibt sich daraus, dass eine Kugel mit einem Radius r = 1 m eine Oberfläche von $4\pi r^2 = 12{,}6$ m² aufweist, auf die sich die Schallleistung der Quelle verteilt. Der Schalldruckpegel auf dieser Oberfläche liegt deshalb um 10 lg (12,6) dB = 11 dB unter dem Schallleistungspegel. Wenn die Kugeloberfläche 1 m² beträgt, was bei einem Radius von 28 cm der Fall ist, haben Schalldruckpegel und Schallleistungspegel den gleichen Zahlenwert.

Eine gerichtete Abstrahlung führt bei gleicher Distanz zu einem höheren Schalldruckpegel als eine kugelförmige Abstrahlung: Steht zum Beispiel für die Schallausbreitung nur ein Halbraum zur Verfügung, weil sich die Quelle auf einer grossen reflektierenden Fläche befindet, so steigt der Schalldruckpegel um 3 dB (Bild 15).

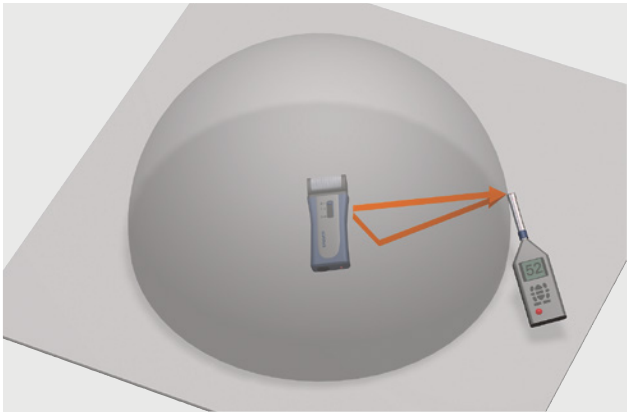
Der Schalldruckpegel erhöht sich, wie in Ziffer 2.6 bereits erwähnt, auch durch indirekte (reflektierte) Schallanteile, wenn der Messpunkt nicht deutlich im direkten Schallfeld liegt (siehe Ziffer 2.12), sowie durch Fremdgeräusche, deren Schalldruckpegel am Messpunkt nicht um wenigstens 10 dB unter dem des Messobjekts liegt (Pegeladdition, siehe Ziffer 2.6).

Schallquelle	Schallleistung [W]	L_W [dB]
Stechmücke (im Flug)	10^{-11}	10
Kühlschrank	10^{-8}	40
PC (ohne Tastatur, Drucker usw.)	10^{-7}	50
Elektrorasierer	10^{-6}	60
moderner Elektrorasenmäher	10^{-5}	70
Motorroller 50 ccm	10^{-4}	80
Geige (fortissimo, sehr laut)	10^{-3}	90
Kreissäge	10^{-2}	100
pneumatischer Abbauhammer	10^{-1}	110
Autohupe	1	120
Orgel (fortissimo)	10	130
Strahltriebwerk (Zivilflugzeug)	10^4	160

Tabelle 5 Typische Schallleistungen und Schallleistungspegel



14 Schallleistungspegel und Schalldruckpegel im freien Schallfeld



15 Schallquelle auf einer Fläche, halbkugelförmige Abstrahlung

Der Schallleistungspegel lässt sich nicht direkt messen. Er kann aber im Hallraum, durch Vergleich mit einer Ersatzquelle, durch eine Schallintensitätsmessung oder durch Schalldruckmessungen auf einer die Quelle umschliessenden Hüllfläche ermittelt werden. Im letzteren Fall sind aber die Grösse dieser Fläche sowie die Einflüsse des Raumes und allfälliger Fremdgeräusche zu berücksichtigen (ISO 3746, DIN 45635). Nähere Angaben sind der Suva-Publikation «Schallemissionsmessungen an Maschinen» (www.suva.ch/66027.d) zu entnehmen.

2.10 Frequenzanalysen

Oft wird der hörbare Frequenzbereich in mehrere Frequenzbänder unterteilt und der Schalldruckpegel in jedem Frequenzband bestimmt. Dies ist beispielsweise notwendig, um frequenzabhängige Einflüsse (zum Beispiel Schallabsorption) zu berücksichtigen oder um abzuschätzen, wie das Gehör, das ebenfalls eine Frequenzanalyse durchführt, ein Geräusch wahrnimmt.

Die in der Akustik übliche Analyse beruht auf Frequenzbändern, deren Breite proportional zur Mittenfrequenz entsprechend den musikalischen Intervallen zunimmt (Bild 16). Die Frequenzen werden dabei auf einer logarithmischen Skala dargestellt. Im Gegensatz dazu arbeiten Schmalband- oder Fourier-Analysen mit konstanter Bandbreite und einer linearen Frequenzskala (Bild 17).

Für summarische Analysen werden Oktavbänder verwendet, deren Mittenfrequenzen sich gemäss der Norm IEC 225 von 1000 Hz aus jeweils durch Verdoppelung bzw. Halbierung ergeben: ... 31,5, 63, 125, 250, 500, **1000**, 2000, 4000, 8000, 16 000 ...

Für genauere Analysen wird jedes Oktavband in drei Terzbänder unterteilt, deren Mittenfrequenzen ebenfalls in dieser Norm festgelegt sind (Tabelle 6).

25	50	100	200	400	800	1600	3150	6300	12 500
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16 000
40	80	160	315	630	1250	2500	5000	10 000	20 000

Tabelle 6 Normierte Oktavband- (mittlere Zeile) und Terzband-Mittenfrequenzen; alle Werte in Hertz [Hz].

Oktavband- und Terzband-Analysen werden meist als Balkendiagramme dargestellt (Bild 16). Auf der horizontalen Achse folgen sich die Frequenzbänder. In vertikaler Richtung entspricht die Balkenlänge dem Pegel im betreffenden Band.

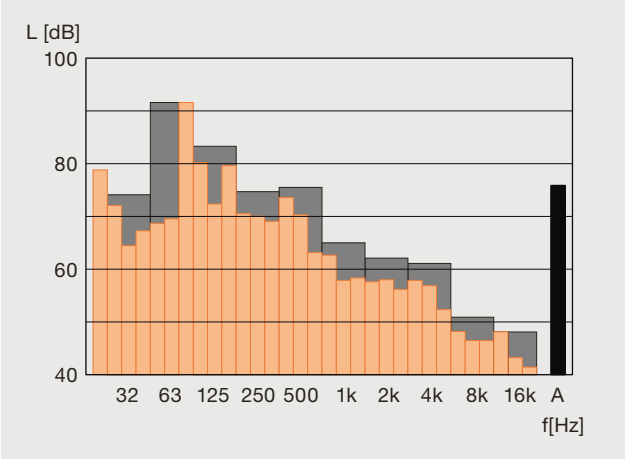


Bild 16 Oktavband-Analyse (grau) und Terzband-Analyse (orange) des Geräusches in der Kabine eines Propellerflugzeugs

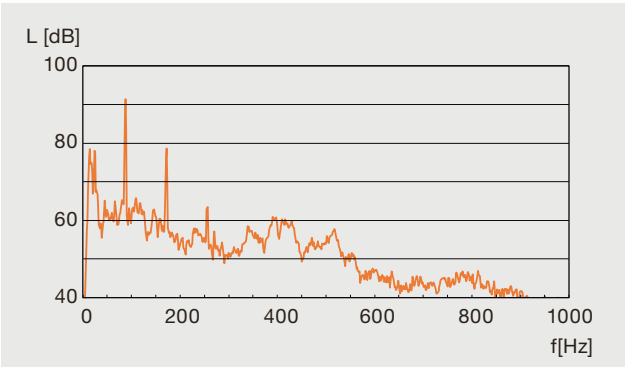


Bild 17 Schmalband-Analyse des gleichen Geräusches wie in Bild 16; Schallpegel für die Frequenzen von 0 bis 1000 Hz

2.11 Schallsignale

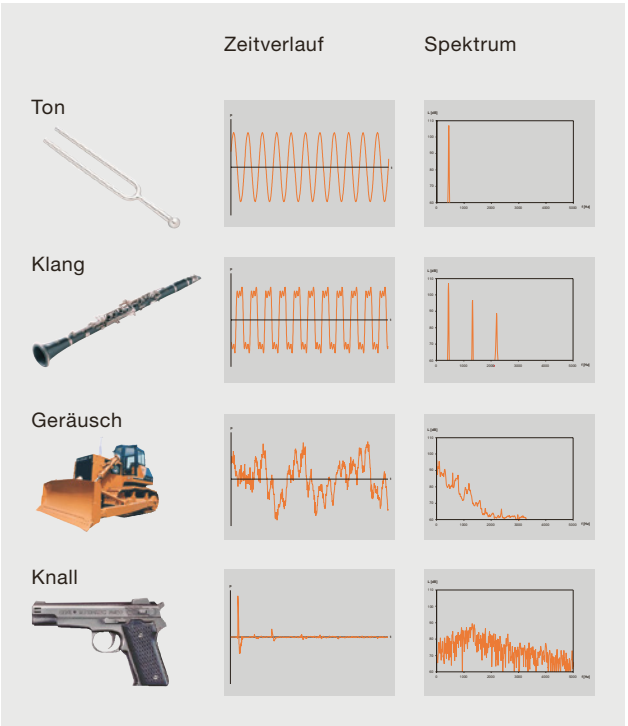
2.11.1 Ton, Klang, Geräusch

Der Unterschied zwischen Ton, Klang und Geräusch basiert auf dem Frequenzspektrum (Bild 18).

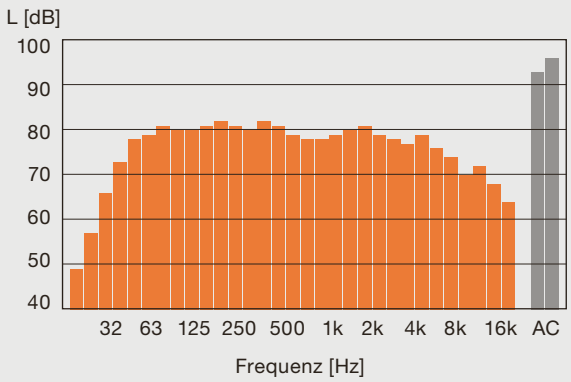
Ein **reiner Ton** ist eine sinusförmige Schallschwingung und enthält nur eine Frequenz. Beispiele: Stimmgabelton, Telefonsummton, Flötenton (annähernd).

Ein **Klang** besteht aus einem Grundton und harmonischen Obertönen, die bei ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz liegen. Diese Obertöne bestimmen die Klangfarbe. Beispiele: Klänge einer Geige oder von Blasinstrumenten.

Geräusche sind zeitlich nicht periodisch und bestehen aus zahlreichen nichtharmonischen Frequenzen, das heisst, diese Frequenzen stehen nicht in ganzzahligen Verhältnissen zueinander. Eine Tonhöhe kann nicht angegeben werden. Beispiele: Rauschen eines Wasserfalles, Lärm eines Abbauhammers.



18 Ton, Klang, Geräusch und Knall



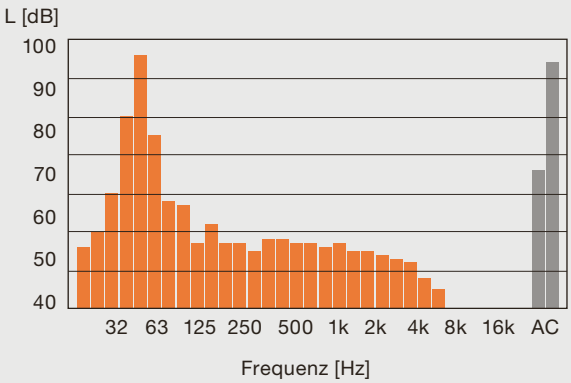
19 Breitbandiges Geräusch

Als Testsignal für akustische Messungen dient oft «Rosa Rauschen», das über alle Terzbänder einen konstanten Pegel liefert, also ein flaches Terzbandspektrum aufweist. Das Spektrum von «Weissem Rauschen» hingegen steigt mit 3 dB/Oktave zu hohen Frequenzen hin an.

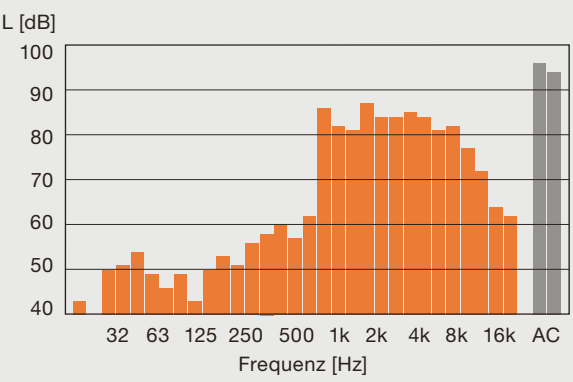
Aufgrund des Spektrums können breitbandige, tief- und hochfrequente Geräusche unterschieden werden (Bilder 19 bis 21).

2.11.2 Dauerlärm, intermittierender Lärm, Impulslärm

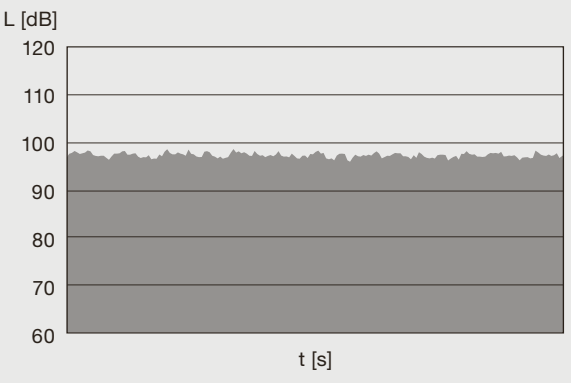
Der Unterschied zwischen Dauerlärm, intermittieren-



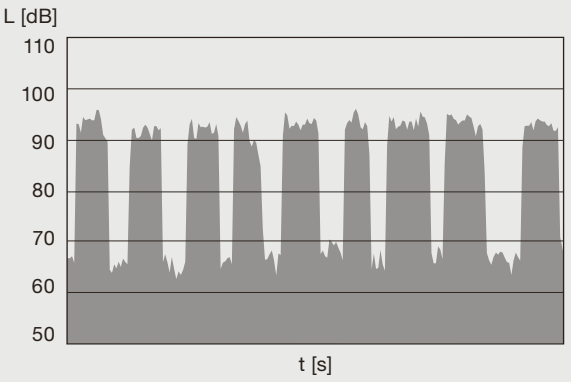
20 Tieffrequentes Geräusch



21 Hochfrequentes Geräusch



22 Dauerlärm (Websaal)

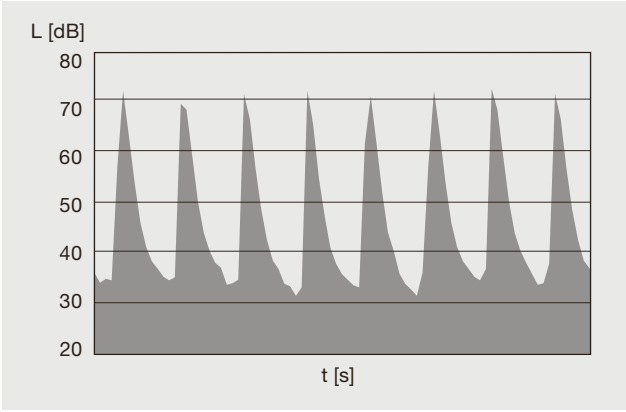


23 Intermittierender Lärm (Warnsignal)

dem Lärm und Impulslärm liegt im zeitlichen Verlauf des Schallsignals.

Dauerlärm ist sowohl in Bezug auf den Schalldruckpegel als auch auf das Spektrum einigermassen konstant (Bild 22). Beispiel: Notstromgruppe mit Dieselmotor, der mit konstanter Drehzahl arbeitet.

Beim **intermittierenden Lärm** lösen sich mehrere Phasen mit unterschiedlichem Pegel und Frequenzspektrum ab (Bild 23). Ein solcher Verlauf kann durch abwechselnden Betrieb mehrerer Maschinen oder durch verschiedene Betriebszustände einer Maschine bedingt sein. Beispiel: Motorkettensäge im Leerlauf, mit Vollgas und unter Last.



24 Impulslärm beim Rammen von Erdpfählen

Beim **Impulslärm** handelt es sich um kurzzeitige Schallereignisse mit hohen Schalldruckspitzen (Bild 24). Beispiel: Schläge, Knalle, Explosionen.

Extrembeispiele sind Waffenknalle, die innert einer Millionstelsekunde einen Schalldruckpegel von über 150 dB erreichen (Bild 25).

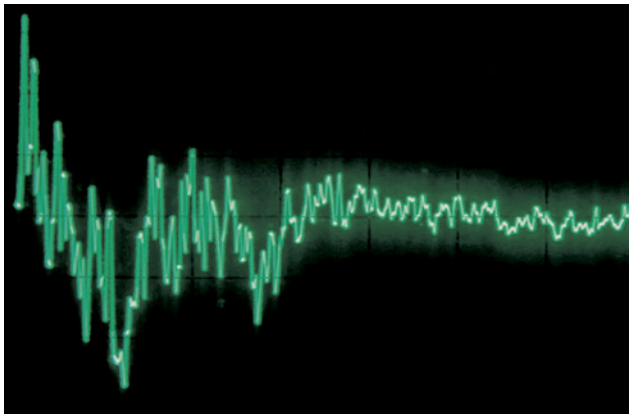
2.12 Schallfelder

2.12.1 Freies Schallfeld

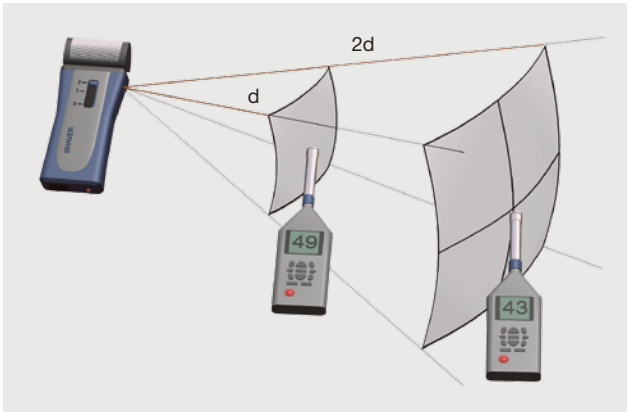
Wenn Begrenzungsflächen entweder fehlen oder den Schall wirksam absorbieren, so trifft beim Empfänger ausschliesslich Direktschall ein. Dies gilt auf freiem Feld – vor allem bei schneebedecktem Boden oder Grasbewuchs – und im «schalltoten» oder reflexionsarmen Raum.

Mit zunehmender Distanz nimmt der Schalldruck ab, weil sich die Schallenergie auf eine immer grössere Fläche verteilt («Verdünnungseffekt», Bild 26). Bei einer punktförmigen Quelle vermindert sich der Schalldruck mit jeder Verdoppelung der Distanz auf die Hälfte, der Schalldruckpegel also um jeweils 6 dB.

Dies trifft allerdings nur zu, wenn die Schallquelle in allen Dimensionen kleiner ist als das Dreifache der Messdistanz und so für den Empfänger als Punktquelle



25 Knall bei der Airbag-Auslösung, Spitzenpegel L_{peak} = 160 dB(C)



26 Schalldruckabnahme bei zunehmender Distanz von einer Punktquelle

erscheint. Solange beide Dimensionen der abstrahlenden Fläche das Dreifache der Messdistanz übertreffen, bleibt der Schalldruckpegel konstant (Flächenquelle, z. B. Fabrikfassade). Ist die Schallquelle nur in einer Dimension grösser als die dreifache Messdistanz, so fällt der Schalldruckpegel mit jeder Distanzverdoppelung um 3 dB (Linienquelle, z. B. dicht befahrene Autobahn).

Unabhängig von diesen geometrisch bedingten Pegelabnahmen («Schallverdünnung») treten noch distanzproportionale Dämpfungen auf, denen die höchsten Frequenzen am meisten unterworfen sind (Grössenordnung bei 4 kHz: etwa 20 bis 30 dB pro km). Deshalb ist aus der Ferne nur dumpfes Donnergrollen zu vernehmen, während ein naher Blitzeinschlag von hellem Krachen begleitet ist.

2.12.2 Diffuses Schallfeld

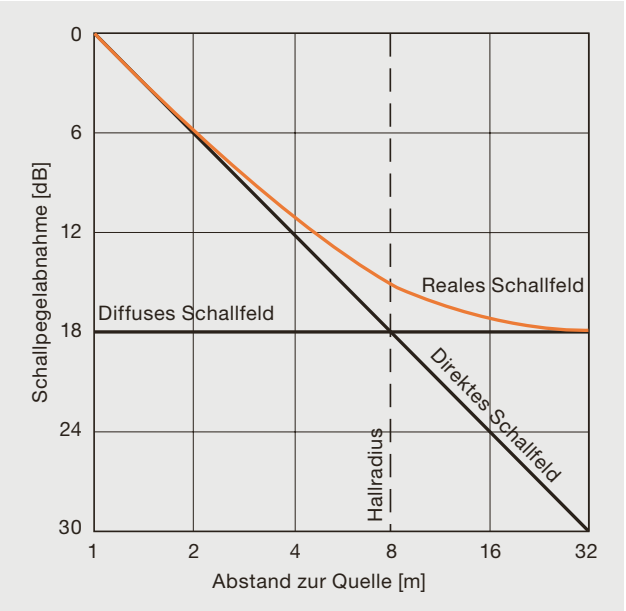
Voraussetzung für ein diffuses Schallfeld sind Begrenzungsflächen, die den Schall grösstenteils zurückwerfen. Die Reflexionen treffen aus allen Richtungen ein und folgen sich so rasch, dass kein einzelnes Echo herauszuhören ist. Zusammen bilden sie den **Nachhall**, der nach dem Abschalten der Lärmquelle allmählich abklingt. Die Zeit, bis der Pegel um 60 dB abgefallen ist, heisst Nachhallzeit T_{60} und ist eine wichtige Kenngrösse der Raumakustik. Wie in Ziffer 2.3 erwähnt, ist die Schallabsorption frequenzabhängig. Die Nachhallzeit hängt deshalb ebenfalls von der Frequenz ab und wird in Oktav- oder Terzbändern angegeben (Grössenordnung bei mittleren Frequenzen: Wohnzimmer etwa 0,5 s, Konzertsaal 1 bis 2 s, Kathedrale 4 bis 8 s).

Ein ideales diffuses Schallfeld strebt man im Hallraum an. Schiefe und konvexe Wände ohne jede Absorption reflektieren und verteilen den Schall so gleichmässig, dass der Schalldruck im ganzen Raum weitgehend konstant ist. In einem solchen Raum kann die von einem Gerät abgestrahlte Schallleistung oder das Absorptionsvermögen von Materialproben ermittelt werden.

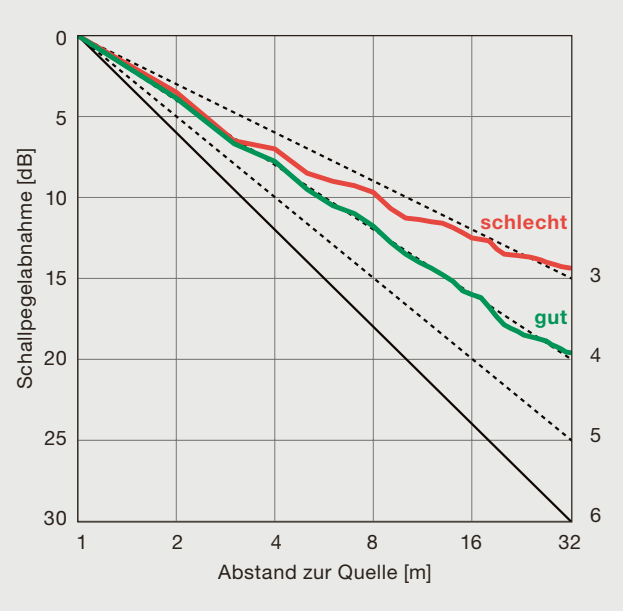
2.12.3 Schallfeld in Industrieräumen

In Räumen überlagern sich das freie und das diffuse Schallfeld. Nahe der Schallquelle herrscht der Direktschall vor. Hier hängt der Schallpegelverlauf vom Abstand und den Abmessungen der Quelle ab, bleibt aber weitgehend unbeeinflusst von den akustischen Eigenschaften des Raumes. Deshalb werden raumakustische Massnahmen, zum Beispiel eine Akustikdecke, den Schalldruckpegel in der Nähe der Quelle kaum verringern.

In grösserer Entfernung von der Quelle hingegen überwiegt der indirekte (reflektierte) Schall. Der Schalldruckpegel ist dort (theoretisch) ortsunabhängig (Bild 27) und hängt von den Absorptionseigenschaften des Raumes ab. Die Distanz, bei welcher der direkte und der diffuse Schallanteil gleich gross sind, heisst Hallradius. Allerdings ist auch der Hallradius frequenzabhängig, so dass sich in der Praxis für den breitbandigen Schalldruckpegel immer ein verschliffener Verlauf ergibt.



27 Überlagerung des direkten und des diffusen Schallfelds (Hallradius bei 8 m).



28 Verschiedene Werte von DL2

Tatsächlich bildet sich aber in Industrieräumen kaum je ein wirklich diffuses Schallfeld aus, sondern der Schalldruckpegel fällt auch in grösserer Distanz von der Quelle weiter ab. Die Pegelabnahme pro Distanzverdoppelung im mittleren Entfernungsbereich (DL2) kann als Beurteilungsgrösse für die akustische Qualität eines Raumes herangezogen werden (Bild 28, Beispiele aus der Praxis unter Ziffer 7.5.2).

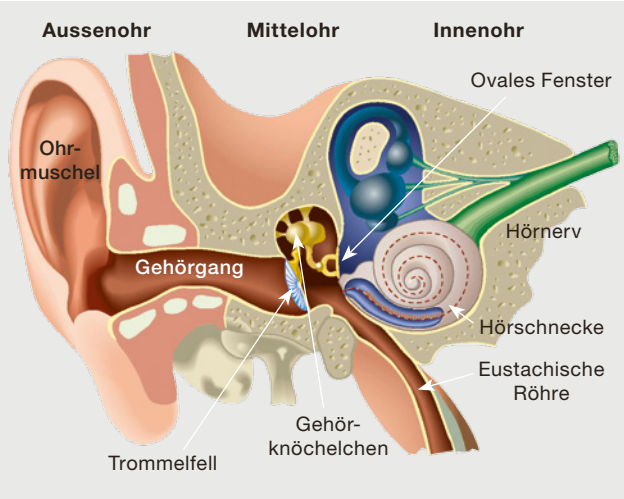
3 Das Gehör

3.1 Das Ohr und der Hörvorgang

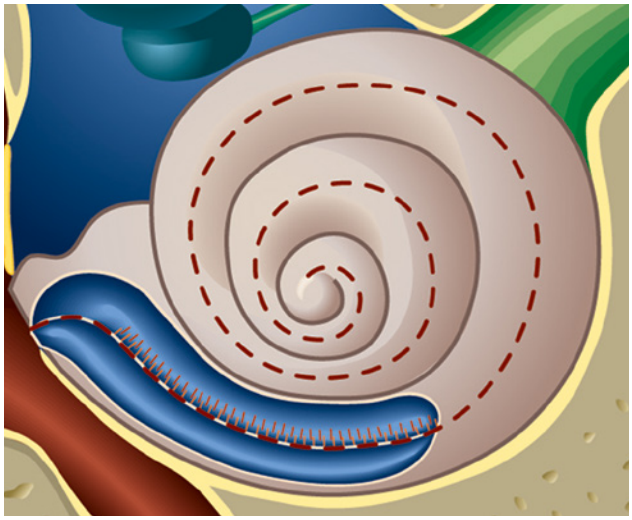
In über 100 000 Jahren hat die Natur das Gehör zu einem Hochleistungs-Organ im Miniaturformat entwickelt, in dem sich auf kleinstem Raum vier verschiedene Arten der Schallübertragung ergänzen. Schon die Ohrmuschel (Bild 29) sammelt und beeinflusst die Schallwellen je nach Einfallsrichtung unterschiedlich, bevor sie durch den Gehörgang zum Trommelfell gelangen, wobei besonders die Frequenzanteile um 3000 Hz durch die Gehörgangresonanz verstärkt werden. Die Übertragung geschieht hier noch durch die Luft. Das Trommelfell reagiert wie eine Mikrofonmembran auf die Druckdifferenz zwischen dem Gehörgang und dem Mittelohr-Hohlraum. Ein Druckausgleich über die Eustachische Röhre zum Nasen-Rachen-Raum verhindert dabei Störungen durch statische Druckdifferenzen. Die Bewegungen des Trommelfells werden mechanisch über die drei kleinen Gehörknöchelchen (Hammer, Amboss und Steigbügel) zum Ovalen Fenster übertragen (sogenannte Schallleitung). Daran schliesst sich die mit Flüssigkeit gefüllte Hörschnecke an, die in Längsrichtung durch die Basilarmembran unterteilt ist und etwa die Grösse einer Erbse aufweist.

Die Bewegungen am Ovalen Fenster pflanzen sich in der Innenohrflüssigkeit als Wanderwelle fort. Diese versetzen die Basilarmembran je nach Frequenz an einer andern Stelle in Schwingung: bei hohen Frequenzen nahe dem Ovalen Fenster, bei tiefen Frequenzen gegen das Zentrum der Hörschnecke hin (Bild 30). So findet eine erste Frequenzanalyse statt.

Auf der Basilarmembran nehmen etwa 3500 mit feinen Härchen ausgestattete Sinneszellen die Bewegungen auf und wandeln sie in Nervenimpulse um (Bild 31). Die nachfolgende Übertragung findet dann elektrisch statt. Neben diesen inneren Haarzellen sitzen auf der Basilarmembran aber auch noch etwa 15 000 äussere Haarzellen. Sie wirken nicht nur als Aufnehmer, sondern auch als Verstärker oder Regler: Fortwährend optimieren sie das Verhalten der Basilarmembran auf das zu verarbeitende Schallsignal. Erst diese aktiven Vorgänge ermöglichen das hervorragende Auflösungsvermögen im Frequenz- und Zeitbereich und die enorme Dynamik des Gehörs.



29 Querschnitt durch das Ohr (nicht massstäblich)



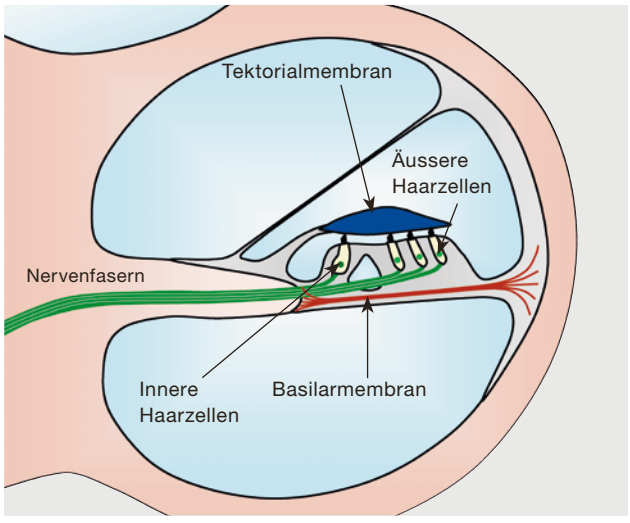
30 Hörschnecke

Die Nervenimpulse werden schliesslich vom Hörnerv an die Hörzentren im Gehirn weitergeleitet und dort verarbeitet.

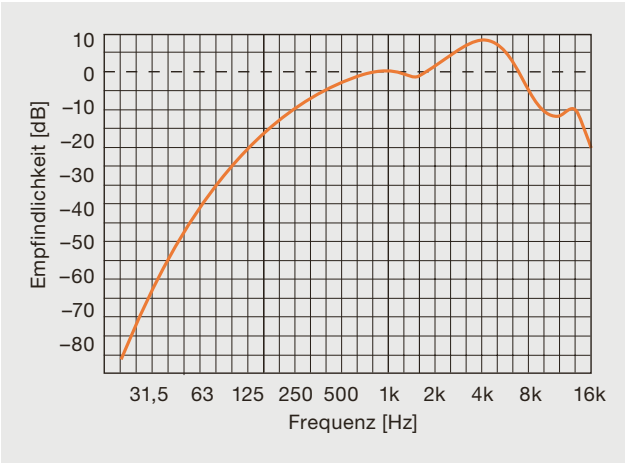
Das menschliche Gehör ist ausserordentlich empfindlich – schliesslich hing in früheren Zeiten das Überleben oft von der Wahrnehmung leisester Geräusche ab – und kann von der Hörschwelle bis zur Schmerzschwelle Schallsignale in einem Umfang von 120 dB verarbeiten. Nur hochwertige Mikrofone oder hochauflösende Tonträger wie die DVD weisen einen ähnlichen Dynamikumfang auf; die Compact Disc (Musik-CD) erreicht nur 95 dB.

Die Schallübertragung über Aussen- und Mittelohr ist nicht bei allen Frequenzen gleich wirksam. Während tiefe und sehr hohe Frequenzen nur abgeschwächt ins Innenohr gelangen, ist die Übertragung zwischen 1 und 6 kHz optimal (Bild 32). Dieser Frequenzbereich ist deshalb am empfindlichsten:

- Bei 4 kHz kommt es schon bei geringstem Schalldruck zu einer Hörempfindung (tiefster Punkt der Hörschwelle, Bild 33).
- Lärmbedingte Schädigungen treten meist zuerst bei 4 kHz auf, da eine Lärmquelle mit flachem Spektrum (ähnlich Rosa Rauschen) das Innenohr in diesem Bereich am stärksten belastet.



31 Querschnitt durch die Hörschnecke



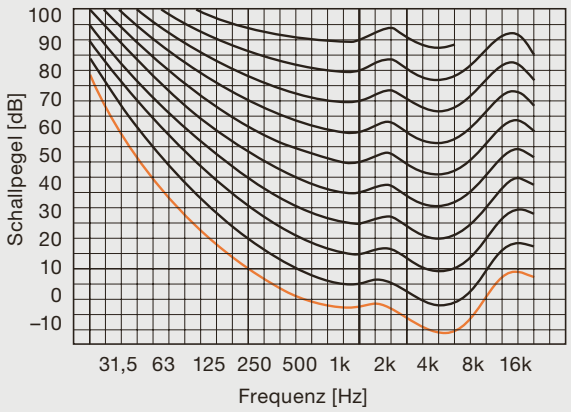
32 Frequenzgang der Übertragung vom freien Schallfeld über Aussen- und Mittelohr bis ins Innenohr

Die Knochenleitung, das heisst die Schallübertragung über die Schädelknochen, ist normalerweise um 30 bis 50 dB weniger wirksam als die Luftleitung, wie man durch Verschliessen beider Ohren feststellen kann. Dies gilt aber nur für die Anregung durch Luftschall; die Einleitung von Körperschall in die Schädelknochen führt zu anderen Verhältnissen.

3.2 Schallempfindung

Zuerst stellt sich die Frage, in welchem Schallpegel- und Frequenzbereich es überhaupt zu einer Hörempfindung kommt.

Der Bereich des hörbaren Schalls ist nicht scharf begrenzt, denn die Wahrnehmbarkeit tiefster und höchster Frequenzen hängt wesentlich vom Pegel des Prüftons ab. Jungen Menschen mit intaktem Gehör gelingt es im Allgemeinen, einen Ton von 20 000 Hz (= 20 kHz) zu hören. Diese Grenze sinkt mit zunehmendem Alter ab. Unterhalb von 20 Hz wird der Schall bei entsprechend hohem Pegel (z. B. bei 10 Hz ab zirka 100 dB) zwar wahrgenommen – zum Teil sogar am ganzen Körper –, ruft aber keine Tonhöhenempfindung hervor, sondern wird eher als Flattern, Dröhnen oder Vibrieren beschrieben.



33 **Hörschwelle und Kurven gleicher Lautstärke (Isophonen)**

In Bild 33 ist die Hörschwelle (orange) dargestellt, die für jede Frequenz den niedrigsten noch hörbaren Schallpegel angibt. Diese Kurve stellt einen Mittelwert für 20-Jährige mit normalem Hörvermögen dar. Ein Vergleich mit Bild 32 zeigt, dass der Verlauf der Hörschwelle vor allem durch die Charakteristik der Schallübertragung bestimmt wird. Zusätzlich sind die Kurven gleicher Lautstärkeempfindung (Phonkurven, schwarz) eingetragen.

Bei welcher Pegeldifferenz verdoppelt sich subjektiv die **Lautstärke**? Umfangreiche Versuche mit vielen Personen und verschiedenen Schallsignalen haben ergeben, dass dafür im Mittel eine Pegelerhöhung um 8 bis 10 dB nötig ist.

Die **Tonhöhenempfindung** beruht auf der Frequenz des Signals. Bei Klängen ist die tiefste Frequenzkomponente – der Grundton – entscheidend. Jede Verdoppelung oder Halbierung der Frequenz wird unabhängig vom Ausgangston als eine Tonhöhenänderung um eine Oktave wahrgenommen. Diese logarithmische Frequenzskala erscheint bei der Klaviertastatur ganz selbstverständlich: Der Abstand zweier Tasten entspricht dort jeweils auch einem gewissen Tonintervall und somit einem gewissen Frequenzverhältnis.

Hervorragend ist das **Auflösungsvermögen** des Gehörs, das auf der Frequenzzerlegung im Innenohr mit Hilfe der aktiven Vorgänge beruht und vor allem auf der Auswertung im Gehirn durch Vergleich mit bekannten Mustern. So gelingt es, aus einem komplexen Schallsignal (z. B. Orchestermusik) einzelne Schallquellen (z. B. Musikinstrumente) herauszuhören und zu identifizieren – eine Aufgabe, die der Computer in dieser Form noch nicht lösen kann.

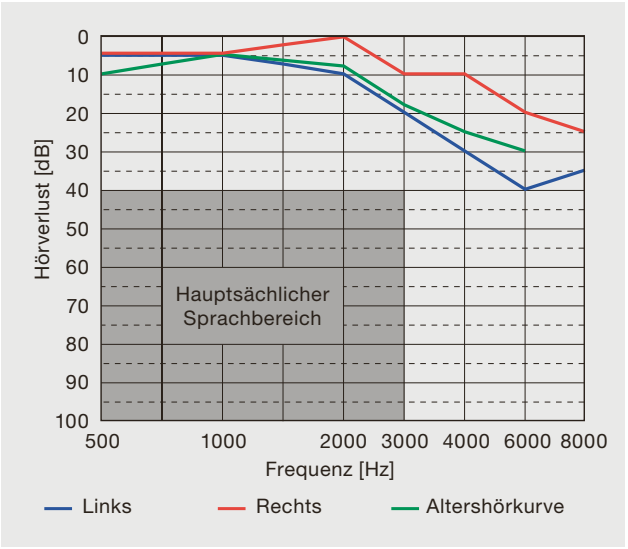
Weitere Informationen über die Schallwahrnehmung enthält die Suva-Publikation «Belästigender Lärm am Arbeitsplatz» (www.suva.ch/66058.d).

3.3 Die audiometrische Prüfung des Gehörs

Das individuelle Hörvermögen wird meist mit einem Reintonaudiometer (Bild 34) und Kopfhörern geprüft. Dieses Gerät enthält einen Signalgenerator und erzeugt bei den von der IEC empfohlenen Frequenzen jeweils einen Ton, dessen Pegel stufenweise variiert wird. Die Stellung «0 dB» entspricht für jede Frequenz der durchschnittlichen Hörschwelle junger Menschen mit intaktem Gehör. Bei der Untersuchung wird der Prüftonpegel jeweils um 5 dB erhöht oder abgesenkt. Die Testperson in der schallgedämmten Kammer meldet mit Handzeichen oder Lichtsignal, ob sie den Ton hört. So wird für jede Frequenz und jede Seite der leiseste hörbare Ton gesucht, also die individuelle Hörschwelle bestimmt.

Als Referenz (Nulllinie) gilt die Durchschnittshörschwelle junger Menschen ohne Ohrenerkrankungen oder Hörschädigungen. Wenn bei einer Person ein höherer Schallpegel nötig ist, bis sie den Ton hört, so wird dies als Hörverlust bezeichnet und von der Nulllinie aus nach unten abgetragen. Die Verbindungslinien der Punkte beider Ohren ergeben das Audiogramm (Bild 35). Je höher also die Kurve liegt, desto besser ist das Hörvermögen.

34 Hörtest (Reintonaudiometrie)



35 Reintonaudiogramm

Aus dem Verlauf des Audiogramms kann der Arzt Schlüsse über Art und Grösse sowie mögliche Ursachen des Hörverlusts ziehen. Die genaue fachärztliche Untersuchung erfordert aber noch weitere Prüfungen, zum Beispiel Stimmgabelversuche, Messungen des Sprachverständnisses bei verschiedenen Lautstärken oder die Messung der Knochenleitung. Heute werden auch die von den aktiven Vorgängen des Gehörs abgestrahlten Schallsignale (otoakustische Emissionen) oder Hirnströme gemessen mit dem Vorteil, dass die Ergebnisse nicht von der Antwort des Probanden abhängen.

3.4 Einfluss des Alters auf das Hörvermögen

Erfahrungsgemäss verschlechtert sich das Gehör mit zunehmendem Alter. Die Nulllinie des Audiogramms kann also nur für junge Personen als Referenz dienen; für andere Altersgruppen ist ein altersbedingter Hörverlust zu erwarten.

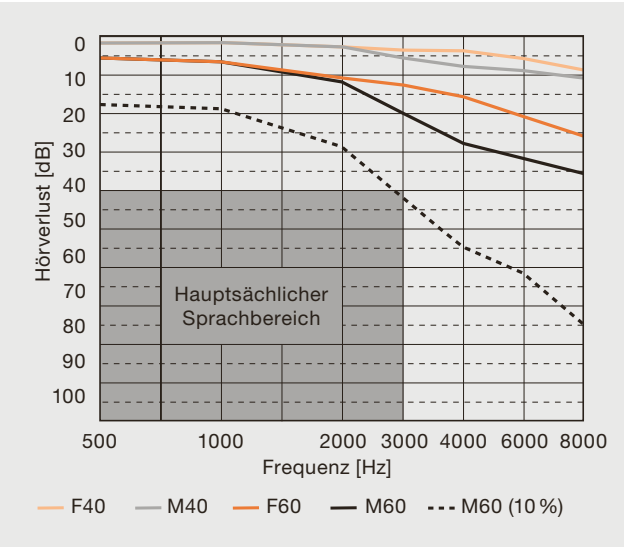
Die altersbedingte Abnahme der Hörempfindlichkeit betrifft die höchsten Frequenzen zuerst und am stärksten. Sie tritt bei Männern im Allgemeinen früher auf als bei Frauen. Dieser Alterungsvorgang spielt sich vorwiegend im Innenohr ab. Eine zusätzliche Versteifung der Mittelohrmechanik kann auch bei tiefen Frequenzen eine Höreinbusse bewirken.

Bild 36 zeigt durchschnittliche altersbedingte Hörverluste von 40- und 60-jährigen Frauen und Männern. Die individuellen Werte – auch ohne Lärmeinfluss – können allerdings beträchtlich davon abweichen, wie die zusätzlich dargestellte 10-%-Perzentil-Kurve für Männer von 60 Jahren zeigt.

Bis zum Alter von 60 oder 70 Jahren beeinträchtigt der normale Altershörverlust das Sprachverständnis noch nicht wesentlich. Kommt aber ein lärmbedingter Hörverlust dazu, so haben die Betroffenen oft Schwierigkeiten, einem Gespräch zu folgen.

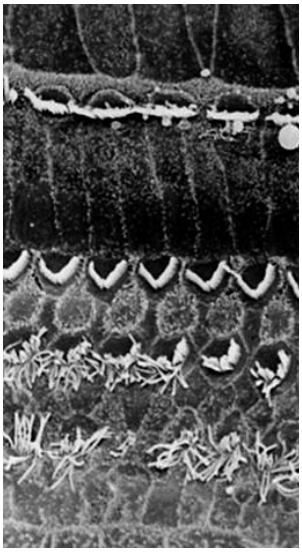
3.5 Schädigung des Gehörs durch Lärm

Dauernde starke Lärmbelastungen können **unheilbare Hörverluste** verursachen. Die Lärmschwerhörigkeit ist immer noch eine der häufigsten Berufskrankheiten.



36 Mittlere Altershörverlustkurven für Frauen (F) und Männer (M) bei 40 und 60 Lebensjahren und 10%-Perzentil-Kurve für Männer von 60 Jahren nach ISO 7029

37a Innere (oben, eine Reihe) und äussere Haarzellen (unten, drei Reihen)



37b Nach extremen Überlastungen (im Tierversuch) zeigen sich schwere Schäden und sogar Lücken.

Lärmschäden sind **Innenohrschäden**: Vermag der Innenohrstoffwechsel bei andauernder grösserer Lärmbelastung die in den Haarzellen verbrauchte Energie nur ungenügend zu ersetzen, so sterben die Haarzellen ab, und zwar endgültig. Weder Operationen noch Medikamente können sie retten.

Eine Lärmschwerhörigkeit entwickelt sich in der Regel wie folgt: Nach einer Lärmbelastung ist das Gehör vorübergehend vertäubt (temporäre Hörschwellenverschiebung[1]). Der Betroffene hat das Gefühl, seine Ohren seien verstopft. Diese Vertäubung ist auch audiometrisch nachweisbar. Das Gehör erholt sich davon nur allmählich, unter Umständen sind dazu Stunden oder Tage erforderlich.

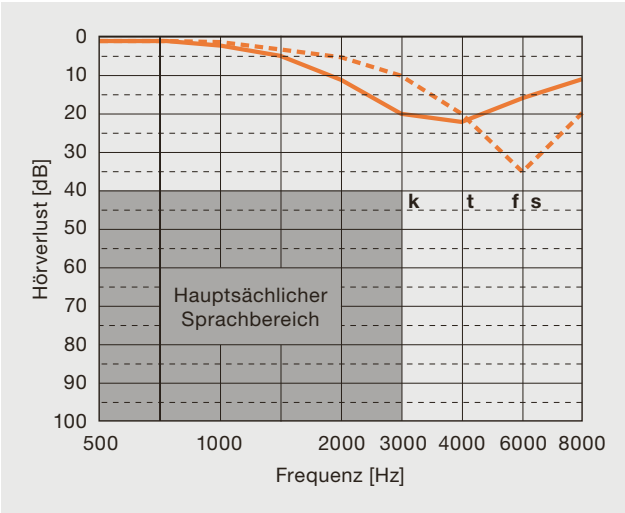
Häufen sich die Überlastungen, so vergrössert sich das Stoffwechseldefizit und die Haarzellen sterben ab (Bild 37). Bei andauernder Lärmbelastung fallen immer mehr Haarzellen aus – ein bleibender Hörverlust[2] ist die Folge.

Bei einer solchen Schädigung des Gehörs werden zuerst die äusseren Haarzellen zerstört. Somit verschlechtert sich das Auflösungsvermögen in zeitlicher und spektraler Hinsicht. Dieser Funktionsverlust kann auch durch eine optimierte Verstärkung des Schallsignals – zum Beispiel mit einem Hörgerät – nur teilweise kompensiert werden.

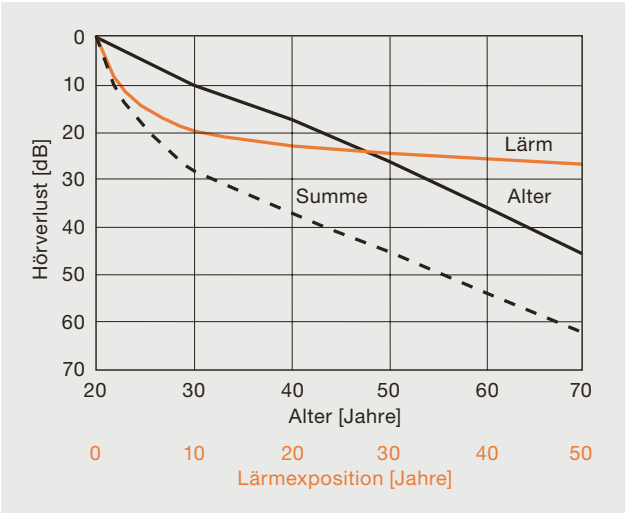
Lärmbedingte Höreinbussen sind auch deshalb so heimtückisch, weil sie sich ohne Schmerzen entwickeln und zuerst bei höheren Frequenzen um 4 kHz auftreten. Der Betroffene bemerkt die Einbusse noch nicht oder unterschätzt ihre Tragweite, obwohl er die Zischlaute der Sprache und das Klingeln einer Fahrradglocke oder das Ticken einer Uhr bereits schlechter hört. Höreinbussen durch Impulslärmbelastungen treten oft eher bei 6 kHz als bei 4 kHz auf (Bild 38).

[1] T.T.S. = temporary threshold shift.

[2] P.T.S. = permanent threshold shift.



38 Typische Schädigung durch Dauer- (—) bzw. Impulslärm (- -) mit betroffenen Konsonanten



39 Entwicklung des lärm- und altersbedingten Hörverlusts bei 4 kHz bei Männern mit einer Lärmbelastung von 95 dB(A) (nach ISO 1999–1990)

Die lärmbedingte Abnahme der Hörfähigkeit schreitet in den ersten Jahren der Lärmbelastung am schnellsten voran, während sich die altersbedingte Abnahme erst später auswirkt (Bild 39).

Bei andauernder Lärmbelastung dehnt sich die Höreinbusse unaufhaltsam in den Sprachbereich aus, so dass die Betroffenen vor allem in akustisch ungünstiger Umgebung und bei starken Nebengeräuschen Mühe haben, einem Gespräch zu folgen. Die altersbedingte Abnahme der Hörfähigkeit verschlimmert dieses Problem noch. Schliesslich verstehen die Hörgeschädigten auch Worte kaum mehr, die in ruhiger Umgebung direkt an sie gerichtet werden.

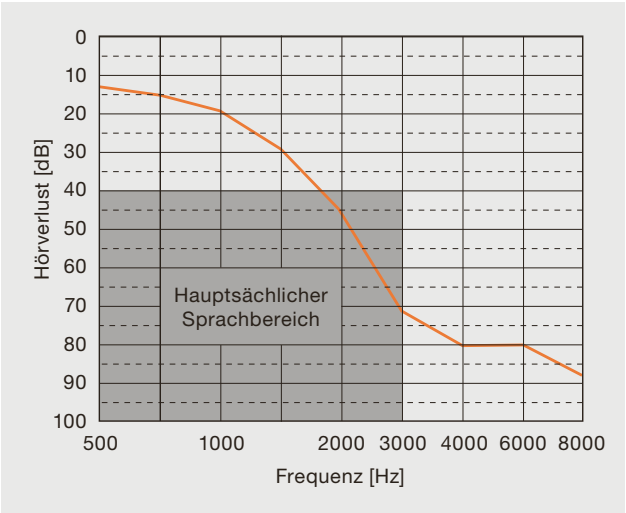
Zitat eines Lärmschwerhörigen: «Zu Hause muss ich Radio und Fernseher immer stärker aufdrehen, damit ich alles hören kann. Meine Frau findet es dann viel zu laut. Im Restaurant habe ich Mühe, beim Gespräch mitzukommen – vor allem, wenn rundherum Lärm ist. Es ist mir schon passiert, dass ich völlig falsche Antworten gegeben habe. Ich weiss nicht, ob mich die andern darum nicht mehr für voll nehmen.»

Bild 40 zeigt ein typisches Audiogramm, in dem sich eine mässige Lärmschwerhörigkeit und eine leicht überdurchschnittliche altersbedingte Hörabnahme (Männer, 60 Jahre, 25 %-Perzentile) überlagern. Wie sich eine solche Schwerhörigkeit (an der Grenze der versicherungstechnischen Erheblichkeit, CPT-Wert gemäss Ziffer 3.6 von 35 %) auswirkt, zeigen die Demonstrationen auf der CD «AUDIO DEMO 3» der Suva (www.suva.ch/99051.d).

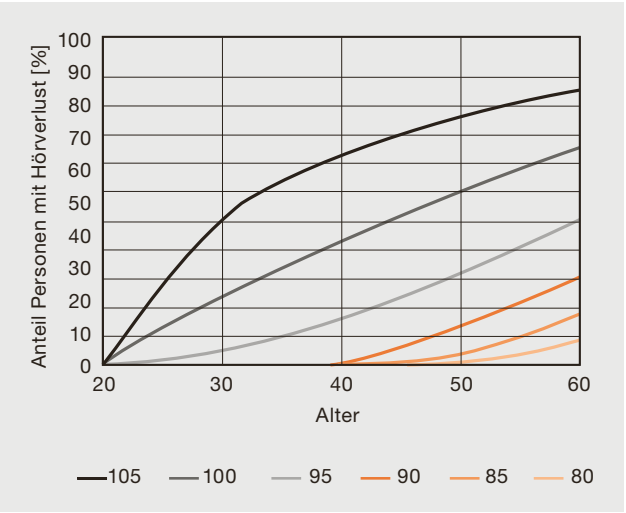
Welcher Anteil der Lärmexponierten – je nach Lärmexpositionspegel und Dauer der Lärmarbeit – einen Hörschaden im hauptsächlichen Sprachbereich (Hörverlust bei 3 kHz über 40 dB) erleidet, zeigt Bild 41 (Grundlage ISO-Norm 1999-1990, nach Liedtke IFA).

Ebenso können Ohrgeräusche (Tinnitus) nach einer Überlastung des Gehörs (oder aus anderen Gründen) als Rauschen, Pfeifen oder Sausen auftreten. Sie sind in manchen Fällen auch mit ärztlicher Hilfe nicht mehr zu beseitigen. Für die Betroffenen sind ständige Ohrgeräusche, die gerade in ruhiger Umgebung, zum Beispiel bei der Erholung oder beim Einschlafen, am meisten in Erscheinung treten, oft ebenso belastend wie eine Höreinbusse.

Für das Risiko eines lärmbedingten Hörverlusts spielt nicht nur die berufliche Lärmbelastung eine Rolle, son-



40 Hörkurve einer Person mit lärm- und altersbedingter Schwerhörigkeit



41 Anteil der Männer, die bei 3 kHz einen Hörverlust von mehr als 40 dB erleiden, in Funktion des Lärmexpositionspegels und der Zeit (Beginn der Lärmarbeit mit 20 Jahren)

dern auch die Lärmexposition in der Freizeit und im Militärdienst. Entscheidend ist die gesamte Schallenergie. Eine kumulierte Lärmbelastung in Beruf und Freizeit kann sich auch deshalb verhängnisvoll auswirken, weil dem Gehör die Erholungszeit fehlt. Das Risiko einer Gehörschädigung ist nicht abhängig von der gefühlsmässigen Einstellung zur Lärmquelle. Musik kann bei entsprechender Lautstärke und Einwirkungsdauer ebenso schädlich sein wie Industrielärm [3].

Bei der Einwirkung intensiver Knallereignisse kommt zur Überforderung des Innenohrstoffwechsels noch die mechanische Überlastung der Basilarmembran und der Haarzellen hinzu. Ein einziger Knall eines Sturmgewehrs beispielsweise kann – ohne Gehörschutz – im Ohr des Schützen einen bleibenden Hörverlust verursachen. Das Trommelfell hingegen ist nur durch Schalldruckspitzenpegel über 180 dB [4] gefährdet, wie sie unter anderem bei Explosionen – oder auch bei Ohrfeigen – auftreten können.

Nach heutigem Wissen ist für die akute Gefährdung des Innenohrs weniger der Spitzenpegel als die kurzzeitig (bis zu wenigen Stunden) zu verarbeitende Schallenergie entscheidend, für die der Schallexpositionspegel L_E in dB(A) das beste Mass darstellt.

Es ist davon auszugehen, dass eine gleichzeitige Belastung durch Dauerlärm über 85 dB(A) die Anfälligkeit des Gehörs gegenüber Knallereignissen vergrössert. Was nach einer akuten Überlastung des Gehörs zu unternehmen ist, wird in Ziffer 9.1.2 erläutert.

Nicht jede Schwerhörigkeit ist indessen lärmbedingt. Es gibt auch andere Ursachen: Versteifung der Mittelohrmechanik (Otosklerose), degenerative Vorgänge im Innenohr, ausgeprägte oder vorzeitige Alterung, erbliche Belastung, Infektionen, gewisse Medikamente und Schädelverletzungen.

[3] Wie sich Hörschäden durch Musik vermeiden lassen, steht in der ebenfalls von der Suva herausgegebenen Publikation «Musik und Hörschäden» (www.suva.ch/84001.d)

[4] ohne Frequenzbewertung (linear)

3.6 Die Beurteilung des Hörvermögens

Um das Hörvermögen einer Person zu beurteilen, stützt sich der Arzt unter anderem auf das Reintonaudiogramm.

Weicht die Hörschwelle nur mässig von der Nulllinie ab, so darf nicht ohne weiteres von einer Höreinbusse oder sogar von einem Gehörschaden gesprochen werden. Die Hörkurven sind immer auch mit dem mittleren altersbedingten Hörverlust für das entsprechende Alter und Geschlecht (Bild 36) zu vergleichen.

Da unter den Auswirkungen einer Höreinbusse im Alltag Schwierigkeiten bei der sprachlichen Kommunikation am schwersten wiegen, ist im Audiogramm (Bild 35, Seite 24) bereits eine erste diesbezügliche Beurteilung angedeutet: Verlaufen die Hörkurven deutlich ausserhalb der schraffierten Zone (Sprachbereich), so ist keine wesentliche Beeinträchtigung zu erwarten. Je grösser aber der Teil des Sprachbereichs ist, der von den Hörkurven abgeschnitten wird, desto mehr Mühe haben die Betroffenen, einem Gespräch zu folgen.

In einer genaueren Bewertung berücksichtigt man die Bedeutung der einzelnen Frequenzen für das Sprachverständnis. Die Berechnung nach CPT-AMA [5] gewichtet deshalb die Hörverlustwerte bei den vier Frequenzen 500 Hz, 1, 2 und 4 kHz im Verhältnis 0,15 : 0,30 : 0,40 : 0,15. Die Rechnung wird zunächst für jedes Ohr durchgeführt. Da das bessere Ohr mehr zum Sprachverständnis beiträgt als das schlechtere, errechnet die Suva den binauralen (beidohrigen) CPT-Hörverlust nicht als Mittel der beiden monauralen (einohrigen) Werte, sondern im Verhältnis 3:1 zu Gunsten des besseren Ohrs. Die CPT-Skala reicht von 0 % (keine Höreinbusse) bis 100 % (vollständige Taubheit). Bei der Beurteilung helfen die folgenden Anhaltswerte [6]:

- CPT-Hörverlust bis etwa 15 %: praktisch normales Hörvermögen
- CPT-Hörverlust etwa 15 % bis 35 %: Anzeichen einer Schädigung
- CPT-Hörverlust über 35 %: erhebliche Schädigung des Gehörs

Die CPT-Berechnung wird vor allem für die Einschätzung des Hörverlusts im Hinblick auf allfällige Versicherungsleistungen verwendet (Erheblichkeit). Für die Früherkennung von Gehörschäden (Triage) und für die Kontrolle der Wirksamkeit der Prophylaxe sind zusätzliche Hörverlust-Indikatoren zu verwenden, welche die höheren Frequenzen im Audiogramm mehr gewichten und die Veränderung von Untersuchung zu Untersuchung berücksichtigen.

3.7 Andere Auswirkungen des Lärms

Neben der Gehörschädigung lassen sich auch andere Auswirkungen des Lärms auf den Menschen feststellen, die zum Teil bei wesentlich tieferen Lärmpegeln einsetzen.

3.7.1 Sprachliche Verständigung und Signalwahrnehmung

Ein erhöhter Lärmpegel kann bewirken, dass die sprachliche Verständigung (Gespräche, Anweisungen, Warnungen) mühsam, schwierig oder gar unmöglich wird (Bild 42).

Darüber hinaus kann ein hoher Lärmpegel weitere Nachteile mit sich bringen:

- Werden Störgeräusche von Maschinen durch andere Lärmquellen überdeckt, so ist eine gehörmässige Überwachung unmöglich.
- Geräusche, die eine Gefahr ankündigen (Lärm von Fahrzeugen usw.), werden nicht rechtzeitig wahrgenommen.
- Damit akustische Alarmsignale auch im Lärm sicher wahrgenommen werden, sind aufwendige Warnsysteme notwendig.

[5] Council on Physical Therapy – American Medical Association.

[6] Bei einseitiger Höreinbusse gelten andere Kriterien.

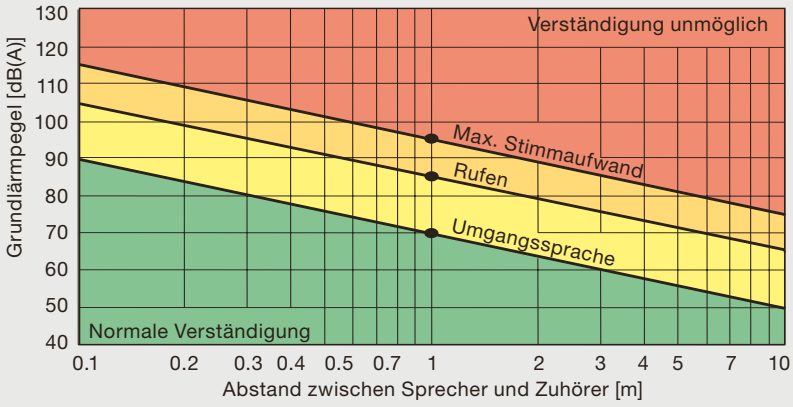
3.7.2 Lärmbelästigung

Die Reaktion auf Lärm ist individuell sehr unterschiedlich und weniger vom Schallpegel als von der Art des Lärms abhängig. Die physikalischen Eigenschaften der Geräusche (Dauer, Häufigkeit, zeitlicher Verlauf, Frequenzzusammensetzung, Impulshaltigkeit usw.) genügen nicht, um die Lästigkeit einzuschätzen. Ob ein Geräusch als lästig empfunden wird, hängt immer auch von der Art der Tätigkeit (z. B. geistige Tätigkeit oder Routinearbeit), von der Einstellung zum Lärm und zum Lärmerzeuger sowie von den biologischen und psychologischen Voraussetzungen der Betroffenen ab.

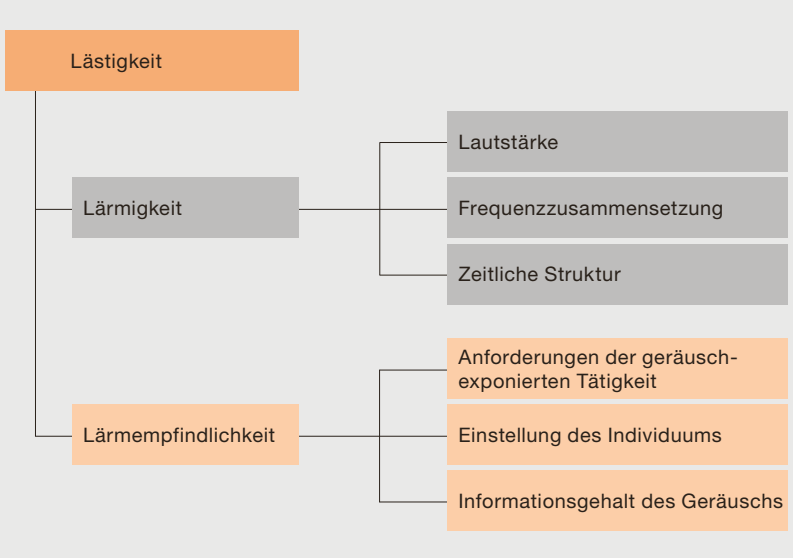
Die Lästigkeit setzt sich aus den beiden Komponenten Lärmigkeit und Lärmempfindlichkeit zusammen (Bild 43). Die Lärmigkeit ist eine objektive Grösse, die sich aus den Signaleigenschaften ergibt. Demgegenüber ist die Lärmempfindlichkeit eine subjektive Grösse, die von der Situation und den Eigenschaften des Individuums (Empfänger) abhängt.

Schon Geräusche ab 20 dB(A) können belästigend wirken. Bei Geräuschen geringer Lautstärke steuert offenbar der Informationsgehalt die Lästigkeit, während es bei lauten Geräuschen eher der Schallpegel ist.

42 Sprachliche Verständigung in Umgebungslärm. Beispiel: Bei einem Umgebungsgeräusch von 100 dB(A) können sich zwei Personen, die mehr als 1,5 m voneinander entfernt sind, sprachlich nicht mehr verständigen, weil der Sprechende auch bei grossem Stimmaufwand das Umgebungsgeräusch nicht zu übertönen vermag.



43 Faktoren, die die Lästigkeit von Lärm beeinflussen



3.7.3 Extraaurale Auswirkungen

Weitere Auswirkungen des Lärms auf den Gesamtorganismus betreffen das Wohlbefinden, im Speziellen das Zentralnervensystem (Schlafstörungen usw.), die Psyche (Leistung, Konzentration, Reizbarkeit, Aggressivität usw.) und das vegetative Nervensystem (Blutdruck, Blutverteilung, Herzfrequenz, Magen-Darm-Störungen, Stoffwechsel, «Stressreaktionen» usw.). All diese Reaktionen sind Symptome der Ausbreitung von Alarmreaktionen auf den Organismus, die durch einen erhöhten Reizzustand des vegetativen Nervensystems ausgelöst und gesteuert werden. Sie treten bereits bei Dauerschallpegeln unter 85 dB(A) auf. Die eigentliche Diagnose von lärmbedingten vegetativen Gesundheitsschäden ist mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Diese Tatsache darf aber nicht davon abhalten, die nötigen prophylaktischen Massnahmen zur Verhinderung vegetativer Gesundheitsschäden zu treffen.

Die Einbusse an Leistungsfähigkeit unter Lärmeinfluss betrifft vor allem komplexe mentale Tätigkeiten sowie solche mit hohen Anforderungen an die Geschicklichkeit und an die Informationsverarbeitung. Lärm kann auch das Erlernen gewisser Fähigkeiten erschweren. Untersuchungen haben ergeben, dass hohe Lärmpegel, diskontinuierliche oder unerwartete Geräusche und besonders Sprachfetzen die mentalen Leistungen herabsetzen.

Eingehender werden diese Zusammenhänge in der Suva-Publikation 66058.d «Belästigender Lärm am Arbeitsplatz» behandelt.

4 Vorschriften und Grenzwerte

4.1 Übersicht

Die Menschen in der Schweiz sollen bei der Arbeit und in der Freizeit vor Lärm geschützt werden. Die rechtliche Grundlage dafür bilden verschiedene Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Normen. In den einzelnen Bestimmungen sind die Verantwortlichkeiten und die Zuständigkeiten der Vollzugsorgane geregelt sowie die einzuhaltenden Grenzwerte festgelegt. In Tabelle 7 sind die wichtigsten rechtlichen Grundlagen zusammengestellt, die für die Lärmbekämpfung in der Schweiz gelten. Das Schema in Bild 44 zeigt, welche rechtliche Grundlage für welche Lärmart anzuwenden ist.

Die aktuellen Fassungen dieser Regelwerke finden Sie im Internet (Adresse siehe Anhang 1).

X Grenzwerte vorhanden
(X) Grenzwerte für bestimmte Produkte
ArG Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz)
ArGV 3 Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (Gesundheitsvorsorge)
ArGV 4 Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (Industrielle Betriebe, Plangenehmigung und Betriebsbewilligung)
ATSG Bundesgesetz über den Allgemeinen Teil des Sozialversicherungsrechts
BAFU Bundesamt für Umwelt
EKAS Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit
Richtlinie Nr. 6508 über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit
EN Europäische Norm
ISO International Organization for Standardization
KAI Kantonale Arbeitsinspektorate
LSV Lärmschutzverordnung
MaLV Maschinenlärmverordnung
MRL Maschinenrichtlinie der Europäischen Union
MSV Mutterschutzverordnung
PrSG Produktesicherheitsgesetz
PrSV Produktesicherheitsverordnung
SECO Staatssekretariat für Wirtschaft
SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein
SLV Verordnung über den Schutz des Publikums von Veranstaltungen vor gesundheitsgefährdenden Schalleinwirkungen und Laserstrahlen («Schall- und Laserverordnung»)
SN Schweizer Norm
USG Bundesgesetz über den Umweltschutz
UVG Bundesgesetz über die Unfallversicherung
UVV Verordnung über die Unfallversicherung
VUV Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten
WL Wegleitungen zu ArGV 3 und 4

Anwendungsbereich	Arbeitsplatz: Gehörgefährdung	Arbeitsplatz: Lärmbelästigung	Inverkehrbringen von Produkten	Umwelt
Gesetze	UVG	ArG	PrSG	USG
Verordnungen	UVV, VUV	ArGV 3, ArGV 4,	PrSV	LSV, SLV, MaLV
Richtlinien	EKAS	WL	MRL	
Grenzwerte, Richtwerte	X	X	(X)	X
Normen	SN, EN, ISO	SN, EN, ISO	SN, EN, ISO	SIA 181
Vollzugsorgan	Suva	SECO, KAI	Suva	Kantone, BAFU, Suva

Tabelle 7 Rechtliche Grundlagen für die Lärmbekämpfung in der Schweiz (Abkürzungen siehe oben stehende Zusammenstellung)

4.2 Die Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten

Grundlegende Vorschriften über die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz sind enthalten
- im Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG)
- in der Verordnung über die Unfallversicherung (UVV)
- in der Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (VUV)

Im UVG sind die Berufsunfälle in Artikel 7, die Nichtberufsunfälle in Artikel 8 und die Berufskrankheiten in Artikel 9 definiert.

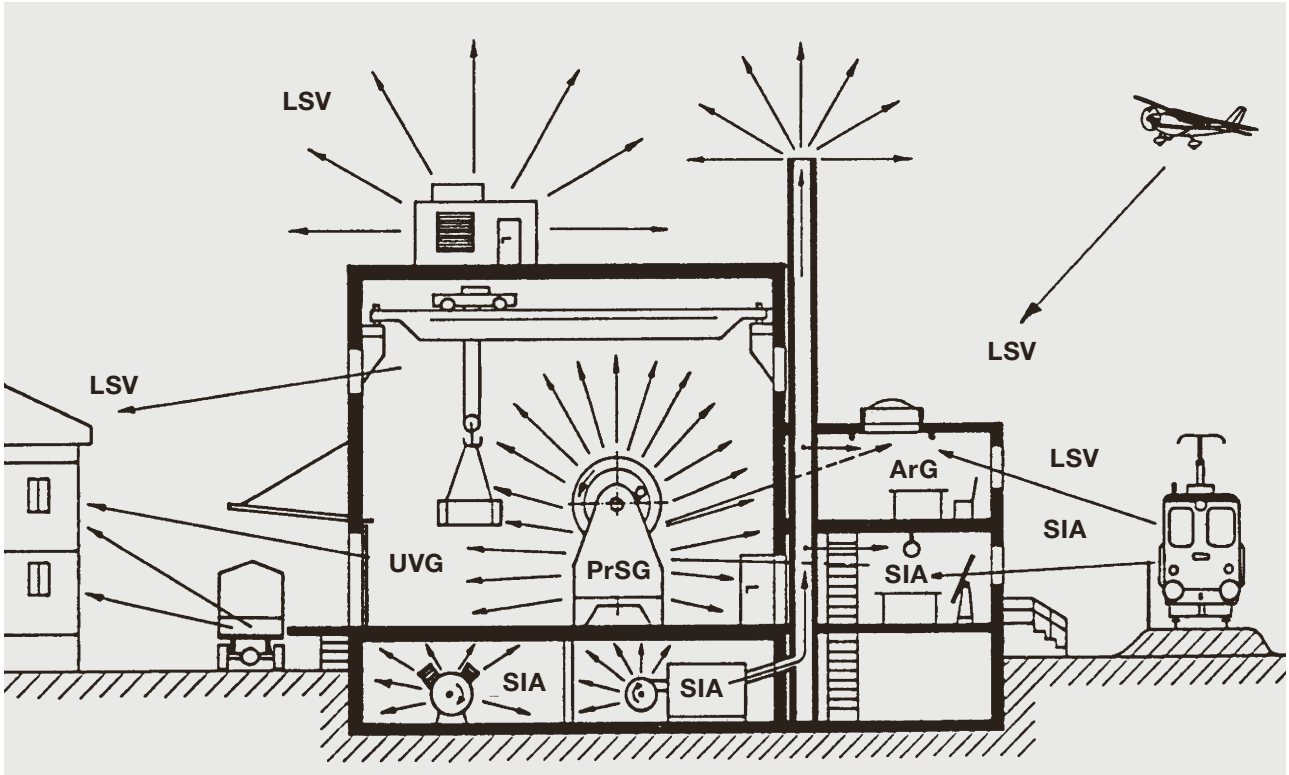
UVG, Artikel 9: Berufskrankheiten

[1] Als Berufskrankheiten gelten Krankheiten (Artikel 3 ATSG), die bei der beruflichen Tätigkeit ausschliesslich oder vorwiegend durch schädigende Stoffe oder bestimmte Arbeiten verursacht worden sind. Der Bundesrat erstellt die Liste dieser Stoffe und Arbeiten sowie der arbeitsbedingten Erkrankungen.

[2] Als Berufskrankheiten gelten auch andere Krankheiten, von denen nachgewiesen wird, dass sie ausschliesslich oder stark überwiegend durch berufliche Tätigkeit verursacht worden sind.

[3] Soweit nichts anderes bestimmt ist, sind Berufskrankheiten von ihrem Ausbruch an einem Berufsunfall gleichgestellt. Sie gelten als ausgebrochen, sobald der Betroffene erstmals ärztlicher Behandlung bedarf oder arbeitsunfähig (Artikel 6 ATSG) ist.

In Anhang 1 der UVV sind die arbeitsbedingten Erkrankungen im Sinne von Artikel 9 des UVG aufgeführt. Neben der Liste der schädigenden Stoffe werden auch verschiedene physikalische Einwirkungen genannt.



44 Rechtliche Grundlagen für die Bekämpfung der verschiedenen Lärmarten

Dazu gehören auch:

Erkrankungen	Arbeiten
Erhebliche Schädigungen des Gehörs	Arbeiten im Lärm
Erkrankungen durch Ultraschall und Infraschall	alle Arbeiten

Tabelle 8 Auszug aus der Liste der arbeitsbedingten Erkrankungen

Demzufolge werden durch Lärm am Arbeitsplatz verursachte erhebliche Schädigungen des Gehörs als Berufskrankheit anerkannt.

Wie eine Schädigung des Gehörs und der gehörgefährdende Lärm zu beurteilen sind, ist unter Ziffer 3.5 und 3.6 der vorliegenden Publikation dargelegt.

Artikel 82 UVG enthält die allgemeinen Vorschriften über die Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten. Diese gelten auch für die Gehörschadenprophylaxe, das heisst für die Verhütung von Gehörschäden durch Lärm am Arbeitsplatz:

UVG, Artikel 82: Allgemeines

[1] Der Arbeitgeber ist verpflichtet, zur Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten alle Massnahmen zu treffen, die nach der Erfahrung notwendig, nach dem Stand der Technik anwendbar und den gegebenen Verhältnissen angemessen sind.

[2] Der Arbeitgeber hat die Arbeitnehmer bei der Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten zur Mitwirkung heranzuziehen.

[3] Die Arbeitnehmer sind verpflichtet, den Arbeitgeber in der Durchführung der Vorschriften über die Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten zu unterstützen. Sie müssen insbesondere persönliche Schutzausrüstungen benützen, die Sicherheitseinrichtungen richtig gebrauchen und dürfen diese ohne Erlaubnis des Arbeitgebers weder entfernen noch ändern.

Die VUV enthält konkrete Vorschriften, die auch auf die Gehörschadenprophylaxe anzuwenden sind:

VUV, Artikel 5: Persönliche Schutzausrüstungen

Können Unfall- und Gesundheitsgefahren durch technische oder organisatorische Massnahmen nicht oder nicht vollständig ausgeschlossen werden, so muss der Arbeitgeber den Arbeitnehmern zumutbare persönliche Schutzausrüstungen (PSA), wie Schutzhelme, Haarnetze, Schutzbrillen, Schutzschilde, Gehörschutzmittel, Atemschutzgeräte, Schutzschuhe, Schutzhandschuhe, Schutzkleidung, Schutzgeräte gegen Absturz und Ertrinken, Hautschutzmittel sowie nötigenfalls auch besondere Wäschestücke zur Verfügung stellen. Er muss dafür sorgen, dass diese jederzeit bestimmungsgemäss verwendet werden können.

VUV, Artikel 6: Information und Anleitung der Arbeitnehmer

[1] Der Arbeitgeber sorgt dafür, dass alle in seinem Betrieb beschäftigten Arbeitnehmer, einschliesslich der dort tätigen Arbeitnehmer eines anderen Betriebes, über die bei ihren Tätigkeiten auftretenden Gefahren informiert und über die Massnahmen zu deren Verhütung angeleitet werden. Diese Information und Anleitung haben im Zeitpunkt des Stellenantritts und bei jeder wesentlichen Änderung der Arbeitsbedingungen zu erfolgen und sind nötigenfalls zu wiederholen.

[2] Die Arbeitnehmer sind über die Aufgaben und die Funktion der in ihrem Betrieb tätigen Spezialisten der Arbeitssicherheit zu informieren.

[3] Der Arbeitgeber sorgt dafür, dass die Arbeitnehmer die Massnahmen der Arbeitssicherheit einhalten.

[4] Die Information und die Anleitung müssen während der Arbeitszeit erfolgen und dürfen nicht zu Lasten der Arbeitnehmer gehen.

VUV, Artikel 6a: Mitspracherechte

[1] Den Arbeitnehmern oder deren Vertretung im Betrieb steht in allen Fragen der Arbeitssicherheit ein Mitspracherecht zu.

[2] Das Mitspracherecht umfasst den Anspruch auf frühzeitige und umfassende Anhörung sowie das Recht, Vorschläge zu unterbreiten, bevor der Arbeitgeber einen Entscheid trifft. Der Arbeitgeber begründet seinen Entscheid, wenn er den Einwänden und Vorschlägen der Arbeitnehmer oder deren Vertretung im Betrieb nicht oder nur teilweise Rechnung trägt.

VUV, Artikel 7: Übertragung von Aufgaben an Arbeitnehmer

[1] Hat der Arbeitgeber einen Arbeitnehmer mit bestimmten Aufgaben der Arbeitssicherheit betraut, so muss er ihn in zweckmäs-siger Weise aus- und weiterbilden und ihm klare Weisungen und Kompetenzen erteilen. Die für die Aus- oder Weiterbildung benötigte Zeit gilt in der Regel als Arbeitszeit.

[2] Die Übertragung solcher Aufgaben an einen Arbeitnehmer entbindet den Arbeitgeber nicht von seinen Verpflichtungen für die Arbeitssicherheit.

VUV, Artikel 8: Vorkehren bei Arbeiten mit besonderen Gefahren

[1] Der Arbeitgeber darf Arbeiten mit besonderen Gefahren nur Arbeitnehmern übertragen, die dafür entsprechend ausgebildet sind. Wird eine gefährliche Arbeit von einem Arbeitnehmer allein ausgeführt, so muss ihn der Arbeitgeber überwachen lassen.

[2] Bei Arbeiten mit besonderen Gefahren müssen die Zahl der Arbeitnehmer sowie die Anzahl oder die Menge der gefahrbringenden Einrichtungen, Arbeitsmittel und Stoffe auf das Nötige beschränkt sein.

VUV, Artikel 9: Zusammenwirken mehrerer Betriebe

[1] Sind an einem Arbeitsplatz Arbeitnehmer mehrerer Betriebe tätig, so haben deren Arbeitgeber die zur Wahrung der Arbeitssicherheit erforderlichen Absprachen zu treffen und die notwendigen Massnahmen anzuordnen. Sie haben sich gegenseitig und ihre jeweiligen Arbeitnehmer über die Gefahren und die Massnahmen zu deren Behebung zu informieren.

[2] Der Arbeitgeber muss einen Dritten auf die Anforderungen der Arbeitssicherheit in seinem Betrieb ausdrücklich aufmerksam machen, wenn er ihm den Auftrag erteilt, für seinen Betrieb:

a. Arbeitsmittel sowie Gebäude und andere Konstruktionen zu planen, herzustellen, zu ändern oder in Stand zu halten;
b. Arbeitsmittel oder gesundheitsgefährdende Stoffe zu liefern;
c. Arbeitsverfahren zu planen oder zu gestalten.

VUV, Artikel 10: Temporärarbeit

Der Arbeitgeber, der in seinem Betrieb Arbeitskräfte beschäftigt, die er von einem anderen Arbeitgeber ausleiht, hat hinsichtlich der Arbeitssicherheit gegenüber diesen die gleichen Pflichten wie gegenüber den eigenen Arbeitnehmern.

VUV, Artikel 11

[1] Der Arbeitnehmer muss die Weisungen des Arbeitgebers in Bezug auf die Arbeitssicherheit befolgen und die allgemein anerkannten Sicherheitsregeln berücksichtigen. Er muss insbesondere die PSA benützen und darf die Wirksamkeit der Schutzeinrichtungen nicht beeinträchtigen.

[2] Stellt ein Arbeitnehmer Mängel fest, welche die Arbeitssicherheit beeinträchtigen, so muss er sie sogleich beseitigen. Ist er dazu nicht befugt oder nicht in der Lage, so muss er den Mangel unverzüglich dem Arbeitgeber melden

[3] Der Arbeitnehmer darf sich nicht in einen Zustand versetzen, in dem er sich selbst oder andere Arbeitnehmer gefährdet. Dies gilt insbesondere für den Genuss von Alkohol oder anderen berauschenden Mitteln.

VUV, Artikel 11a: Beizugspflicht des Arbeitgebers

[1] Der Arbeitgeber muss nach Absatz 2 Arbeitsärzte und andere Spezialisten der Arbeitssicherheit (Spezialisten der Arbeitssicherheit) beiziehen, wenn es zum Schutz der Gesundheit der Arbeitnehmer und für ihre Sicherheit erforderlich ist.

[2] Die Beizugspflicht richtet sich namentlich nach:

a. dem Berufsunfall- und Berufskrankheitsrisiko, das sich aus vorhandenen statistischen Grundlagen sowie aus den Risikoanalysen ergibt;
b. der Anzahl der beschäftigten Personen; und
c. dem für die Gewährleistung der Arbeitssicherheit im Betrieb erforderlichen Fachwissen.

[3] Der Beizug von Spezialisten der Arbeitssicherheit entbindet den Arbeitgeber nicht von seiner Verantwortung für die Arbeitssicherheit.

VUV, Artikel 11b: Richtlinien über die Beizugspflicht

[1] Die Koordinationskommission nach Artikel 85 Absatz 2 des Gesetzes erlässt Richtlinien zu Artikel 11a Absätze 1 und 2.

[2] Werden vom Arbeitgeber die Richtlinien befolgt, so wird vermutet, dass er seiner Verpflichtung zum Beizug von Spezialisten der Arbeitssicherheit nachgekommen ist.

[3] Der Arbeitgeber kann auf andere Weise der Verpflichtung zum Beizug von Spezialisten der Arbeitssicherheit nachkommen, als dies die Richtlinien vorsehen, wenn er nachweist, dass der Schutz der Gesundheit der Arbeitnehmer und ihre Sicherheit gewährleistet ist.

Hinweis: Mit der Richtlinie über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit (EKAS-Richtlinie Nr. 6508) vom 4. Juli 1995 wurde Artikel 11b Absatz 1 umgesetzt (Inkrafttreten: 1. Januar 1996), siehe Ziffer 4.3.

VUV, Artikel 34: Lärm und Vibrationen

[1] Gebäude und Gebäudeteile müssen so gestaltet sein, dass die Gesundheit oder die Sicherheit nicht durch Lärm oder Vibrationen beeinträchtigt wird.

[2] Arbeitsmittel müssen so gestaltet sein, dass die Gesundheit oder die Sicherheit nicht durch Lärm oder Vibrationen beeinträchtigt wird.

[3] Arbeitsabläufe und Produktionsverfahren müssen so gestaltet und durchgeführt werden, dass die Gesundheit oder die Sicherheit nicht durch Lärm oder Vibrationen beeinträchtigt wird.

Aufgrund von Artikel 84 und 89 UVG ist die Suva befugt, den Arbeitgebern Einzelmassnahmen zur Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten vorzuschreiben.

Die Artikel 70 bis 89 VUV betreffen die arbeitsmedizinische Vorsorge (unter anderem Gehörkontrollen).

Nach Artikel 50 VUV ist die Suva zuständig für den Vollzug der Vorschriften über die Verhütung von Berufskrankheiten und demzufolge auch für die Gehörschadenprophylaxe. Dies gilt auch für Betriebe, die nicht bei der Suva versichert sind.

4.3 EKAS-Richtlinie 6508 über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit

Diese Richtlinie regelt den Beizug von Arbeitsärztinnen und Arbeitsärzten sowie anderen Spezialistinnen und Spezialisten der Arbeitssicherheit in den Betrieben gemäss Artikel 11a bis 11g VUV.

4.3.1 Besondere Gefahren

Als «Besondere Gefahren» werden in der Richtlinie solche Gefahren definiert, deren sichere Erkennung und Beurteilung spezielle Kenntnisse voraussetzen und spezielle Untersuchungsmittel erfordern. Zu den besonderen Gefahren zählen auch «Besondere physikalische Einwirkungen» wie starke Vibrationen oder gefährdender Lärm.

4.3.2 Gefahrenermittlung

Die Gefahrenermittlung wird vom Betrieb aufgrund von Branchenkenntnissen und Grundwissen in Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz vorgenommen. Dabei stellen die branchenbezogenen Schallpegeltabellen der Suva (siehe Ziffer 6.5) eine wichtige Beurteilungshilfe dar. Allerdings lassen sich nicht alle betrieblichen Lärmverhältnisse mit diesen Schallpegeltabellen beurteilen, weil es Sonderfälle geben kann (z. B. Spezialmaschinen und -anlagen). Wünscht ein Betrieb eine genaue Abklärung der Lärmverhältnisse, können bei der Suva Schallpegelmesser ausgeliehen werden oder es wird ein Spezialist der Arbeitssicherheit mit der Durchführung solcher Schallmessungen beauftragt. Dieser muss aber fachlich in der Lage sein, eine kompetente Beratung durchzuführen.

4.3.3 Risikoanalyse

Gemäss Richtlinie stellt die Risikoanalyse das Kernelement des in der VUV geforderten Nachweises dar, dass der Schutz der Gesundheit der Arbeitnehmenden und ihre Sicherheit im Betrieb gewährleistet sind. Die Risikoanalyse soll Aufschluss geben über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Berufsunfällen und Berufskrankheiten bei einzelnen (individuelles Risiko) und Gruppen von Arbeitnehmenden (kollektives Risiko).

Im Fall der berufsbedingten Schädigungen des Gehörs kann auf eine eigentliche Risikoanalyse verzichtet werden, da Regeln zur Ermittlung der Lärmexposition (siehe Ziffer 6) und Beurteilung anhand der Grenzwerte sowie über die zu treffenden Massnahmen vorliegen (siehe Ziffer 4.7).

Die betroffenen Personen müssen über die Gefahren informiert und über die Verhütung instruiert werden. Die Instruktion muss dokumentiert werden (wer ist von wem, wann und worüber instruiert worden). Verschiedene Gehörschutzmittel müssen abgegeben werden und das richtige und konsequente Tragen derselben muss regelmässig kontrolliert werden. Die lärmexponierten Personen sind für die Gehörschadenprophylaxe der Suva anzumelden. Zudem ist ein Massnahmenplan zu erarbeiten, um die Lärmbelastung der betroffenen Mitarbeitenden zu reduzieren.

4.3.4 Mitwirkung der Arbeitnehmenden

Die Arbeitnehmenden oder ihre Vertretung im Betrieb müssen über alle Fragen der Arbeitssicherheit frühzeitig und umfassend angehört werden (Artikel 6a VUV, siehe Ziffer 4.2).

4.4 Gesundheitsvorsorge und Plangenehmigung

Das Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz) verpflichtet die Arbeitgeber, die Arbeitnehmer vor gesundheitsgefährdenden Einwirkungen zu schützen (Artikel 6). In Ergänzung zum UVG befasst sich das Arbeitsgesetz mit dem nicht gehörgefährdenden Lärm am Arbeitsplatz (Artikel 22; Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz, ArGV 3). Dieses Thema und die entsprechenden raum- und tätigkeitsbezogenen Richtwerte sind in der Wegleitung zur ArGV 3 ausführlich erläutert.

Die Verordnung 4 (ArGV 4) regelt das Plangenehmigungs- und Betriebsbewilligungsverfahren. Sie legt ganz allgemein den industriellen Baustandard fest, von der erforderlichen Raumhöhe über die Beleuchtung bis hin zu den Fluchtwegen oder zur Raumtemperatur. Und mit diesem Verfahren will man bereits in der Planungsphase auch die Lärmbekämpfung einleiten. Im Zentrum der akustischen Planung eines Gebäudes stehen die Trennung von lärmigen und ruhigen Arbeitsbereichen sowie der Einbau von schallschluckenden Akustikdecken (siehe Ziffer 7.5).

Im Zusammenhang mit dem Arbeitsgesetz muss auch auf den Mutterschutz hingewiesen werden. Ein Betrieb mit gefährlichen oder beschwerlichen Arbeiten muss vor der Beschäftigung von schwangeren Frauen im betroffenen Betriebsteil eine vertiefte Beurteilung der Gehörgefährdung durchführen. Gemäss Artikel 62 ArGV 1 und der Mutterschutzverordnung gelten Arbeiten unter Lärm als beschwerlich oder gefährlich. Als zulässige Grenze gilt ein Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$ von 85 dB(A) pro Tag, wobei Belastungen durch Infra- und Ultraschall gesondert zu beurteilen sind.

Bei Nacht- bzw. Schichtarbeit schreibt das Arbeitsgesetz im Zusammenhang mit Lärm am Arbeitsplatz die Intervalle für die medizinischen Untersuchungen vor. Gehörgefährdender Lärm am Arbeitsplatz wird der Kategorie «Besondere Belastungen und Gefahren» zugeordnet. Die Betroffenen dürfen nur Nachtarbeit verrichten, wenn aufgrund einer medizinischen Untersuchung und Beratung feststeht, dass sie für den geplanten Einsatz geeignet sind. Zudem besteht Anspruch auf periodische Untersuchungen und Beratungen. Für den Vollzug des Arbeitsgesetzes sind die eidgenössischen und kantonalen Arbeitsinspektorate zuständig.

4.5 Sicherheit von Produkten

Das Bundesgesetz über die Produktesicherheit (PrSG) ist anwendbar auf das gewerbliche oder berufliche Inverkehrbringen von Produkten. Artikel 3 enthält die Sicherheitsanforderungen:

Grundsatz
Produkte müssen hinsichtlich Sicherheit den anerkannten Regeln der Technik entsprechen und so beschaffen sein, dass sie bei vernünftiger vorhersehbarer Verwendung die Sicherheit und die Gesundheit der Verwenderinnen und Verwender und Dritter nicht oder nur geringfügig gefährden.

Abgeleitet von diesem Grundsatz werden Anforderungen an Maschinen bezüglich der Luftschallemissionen (siehe Ziffer 4.12) und Vibrationen formuliert.

Beim Kauf einer Maschine ist es sinnvoll, die maximal zulässigen Lärmemissionwerte zu vereinbaren. Vorschläge zur Fomulierung entsprechender Anforderungen (z. B. L_{WA}, L_{pA}) sind in der Suva-Publikation 66027.d «Schallemissionsmessungen an Maschinen» zusammengestellt.

4.6 Vorschriften über Aussenlärmimmissionen

Auf eidgenössischer Ebene regelt die Lärmschutzverordnung (LSV) zum Bundesgesetz über den Umweltschutz die Probleme bezüglich Aussenlärmimmissionen. Für die folgenden Lärmarten werden sowohl Belastungsgrenzwerte wie auch Beurteilungskriterien festgelegt:
- Strassenverkehrslärm
- Eisenbahnlärm
- Lärm von zivilen Flugplätzen
- Industrie- und Gewerbelärm

- Lärm von Schiessanlagen
- Lärm von Militärflugplätzen

Einen Sonderfall stellt die Baulärm-Richtlinie 2000 des BAFU (Bundesamt für Umwelt) dar. Sie definiert bauliche und betriebliche Massnahmen zur Begrenzung des Baulärms gemäss Artikel 6 der LSV und soll zum einheitlichen und korrekten Vollzug der Lärmschutzvorschriften bei Baustellen beitragen.

Der Vollzug der Lärmschutzverordnung liegt im Zuständigkeitsbereich der Kantone. Einige Kantone haben die eidgenössischen Grenzwerte noch verschärft.

4.7 Grenzwerte zum Schutz vor gehörgefährdendem Lärm

Die Grenzwerte für Lärm finden Sie in der Publikation «Grenzwerte am Arbeitsplatz» (www.suva.ch/1903.d)

4.7.1 Dauerschall

Erreicht oder überschreitet der auf einen Arbeitstag bezogene Lärmexpositionspegel L_{EX} den Wert von 85 dB(A) (Auslösewert), sind Lärmschutz-Massnahmen M1 (vergleiche Ziffer 4.7.3) zu treffen.

Der auf ein Arbeitsjahr bezogene Lärmexpositionspegel $L_{EX,2000h}$ muss unter 85 dB(A) liegen (Expositions-Grenzwert). Wird dieser Grenzwert überschritten, sind verschärfte Massnahmen M2 (vergleiche Ziffer 4.7.3) zu treffen. In diesem Fall sind auch die vorsorglichen Gehöruntersuchungen im Audiomobil für Mitarbeitende bis zum 40. Altersjahr obligatorisch.

4.7.2 Impulsartiger Schall

Erreichen Schallereignisse einen Schalldruckspitzenpegel L_{peak} von 135 dB(C) (Auslösewert), sind Lärmschutzmassnahmen M1 (vergleiche Ziffer 4.7.3) zu treffen.

Bei solchen Schallereignissen darf der über eine Stunde aufsummierte Schallexpositionspegel L_E höchstens 120 dB(A) erreichen (Expositions-Grenzwert). Wird der Expositions-Grenzwert überschritten, sind verschärfte Massnahmen M2 umzusetzen.

4.7.3 Massnahmen zum Schutz des Gehörs

Nachfolgend sind die einzelnen Massnahmen aufgelistet, die aufgrund der Lärmbelastung am Arbeitsplatz zu treffen sind. Eine Übersicht darüber bietet Ihnen auch die Abbildung 89 auf Seite 78.

Massnahmen M1

- Möglichkeiten zur Lärmbekämpfung gemäss Checkliste «Lärm am Arbeitsplatz», www.suva.ch/67009.d, erfassen
- Information der Arbeitnehmenden über Gefährdung des Gehörs durch Lärm und über Auswirkungen eines Gehörschadens
- Instruktion der Arbeitnehmenden über notwendige Schutzmassnahmen und deren Anwendung
- kostenlose Abgabe von geeigneten Gehörschutzmitteln
- Tragen von Gehörschutzmitteln bei lärmigen Arbeiten empfehlen
- keine Beschäftigung von schwangeren Mitarbeiterinnen

Massnahmen M2, zusätzlich zu M1

- Massnahmen zur Lärmbekämpfung treffen
- Kennzeichnen von Arbeitsplätzen, Geräten und Lärmbereichen mit dem Zeichen «Gehörschutz obligatorisch»
- Tragen von Gehörschutzmitteln bei lärmigen Arbeiten durchsetzen

Nähere Informationen über Gehörschutzmittel und über die Umsetzung eines Gehörschutz-Obligatoriums finden Sie unter Ziffer 8 dieser Broschüre.

4.8 Richtwerte für belästigenden Lärm am Arbeitsplatz

4.8.1 Tätigkeitsbezogene Richtwerte

Die Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz enthält Richtwerte (siehe Tabelle 9) für drei verschiedene Gruppen von Tätigkeiten:

Gruppe 1: Vorwiegend handwerkliche Routinearbeiten mit kurzzeitigen oder geringen Anforderungen an die Konzentration. Beispiele: Arbeiten an Bearbeitungs- und Fertigungsmaschinen, Vorrichtungen und Geräten, Servicearbeiten usw.

Gruppe 2: Sich wiederholende geistige Tätigkeiten mit zeitweise oder ständig hoher Anforderung an die Konzentration. Beispiele: Disponieren, Datenerfassung, PC-Arbeiten, Verkaufen, Arbeiten in Betriebs- und Meisterbüros usw.

Gruppe 3: Tätigkeiten, die dauernd hohe Anforderungen an die Konzentration stellen und schöpferisches Denken erfordern. Beispiele: Wissenschaftliches Arbeiten, Entwickeln von Programmen, Entwerfen, Übersetzen, Tätigkeiten in Funkräumen usw.

Raum	Lärmexpositions-pegel L_{EX} in dB(A)
Kleinbüro (bis 3 Personen)	40
Mittleres Büro	40
Sitzungs- und Konferenzzimmer	40
Grossraumbüro	45
Büro mit mehreren Büromaschinen	45
EDV-Maschinenraum	50
Werkstattbüro	60
Kommandoraum	60
Steuerkabine	70
Labor	50
Pausen- und Bereitschaftsräume	60
Liege-, Ruhe- und Sanitätsräume	40
Kantine	55
Operationssaal	40
Unterrichtsräume	40
Dienstwohnung (nachts)	35

Tabelle 10 Richtwerte für Hintergrundgeräusche

Tätigkeit	Lärmexpositionspegel L_{EX} in dB(A)	
	Normalanforderung	Erhöhte Anforderung
Gruppe 1: Industrielle und gewerbliche Tätigkeiten	< 85	≤ 75
Gruppe 2: Allgemeine Bürotätigkeiten und vergleichbare Tätigkeiten in der Produktion und Überwachung	≤ 65	≤ 55
Gruppe 3: Überwiegend geistige Tätigkeiten, die eine hohe Konzentration verlangen	≤ 50	≤ 40

Tabelle 9 Tätigkeitsbezogene Richtwerte für belästigenden Lärm am Arbeitsplatz gemäss Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz.

Normalanforderung: Richtwerte, die in der Regel im überwiegenden Teil der Anwendungsfälle einzuhalten sind.

Erhöhte Anforderung: Richtwerte für Lärmminderungsziele. Gleichzeitig sind sie als Richtwerte bei erhöhten Ansprüchen an die Arbeitsleistung, die Arbeitsqualität und bei besonderer Konzentration usw. zu betrachten.

4.8.2 Richtwerte für Hintergrundgeräusche in Arbeitsräumen

Auch für die zulässigen Hintergrundgeräusche findet man in der Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz Richtwerte (Tabelle 10). Als Hintergrundgeräusche (Fremdgeräusche) gelten in diesem Zusammenhang alle Lärmimmissionen, die von eingebauten technischen Einrichtungen stammen (z. B. haustechnische Anlagen wie Belüftungssysteme, Kompressoren, Heizungen) und Lärmimmissionen von aussen (Betriebslärm, innerbetrieblicher Verkehrslärm).

4.9 Weitere Lärmbeurteilungskriterien

4.9.1 Ultraschall

Ultraschall von 20 kHz bis 100 kHz verursacht nach heutigem Stand des Wissens keine Schädigung, wenn in diesem Frequenzbereich der Maximalpegel L_{Fmax} unter 140 dB und der auf einen Arbeitstag von 8 Stunden bezogene äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} unter 110 dB liegen [1].

4.9.2 Infraschall

Infraschall von 2 Hz bis 20 Hz verursacht nach heutigem Stand des Wissens keine Gehörschädigung, wenn in diesem Frequenzbereich der Maximalpegel L_{Fmax} unter 150 dB und der auf einen Arbeitstag von 8 Stunden bezogene äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} unter 135 dB liegen [1].

Störungen des Wohlbefindens können auftreten, wenn äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} von 120 dB überschritten werden.

4.10 Schall- und Laserverordnung

Die eidgenössische «Verordnung über den Schutz des Publikums von Veranstaltungen vor gesundheitsgefährdenden Schalleinwirkungen und Laserstrahlen» (Schall- und Laserverordnung, SLV) ist seit 1. April 1996 in Kraft. Entsprechend der Gehörgefährdung wird zwischen drei Arten von Veranstaltungen unterschieden:

- bis 93 dB(A) mit beliebiger Dauer
- bis 96 dB(A) mit beliebiger Dauer oder bis 100 dB(A) mit weniger als 3 Stunden Dauer
- bis 100 dB(A) mit über 3 Stunden Dauer

Für Veranstaltungen bis 93 dB(A) mit beliebiger Dauer erübrigen sich Massnahmen. In den andern beiden Fällen sind abgestufte Massnahmen zu treffen (Information, Bereitstellen von Gehörschutzmitteln, Schallpegelmessung oder -registrierung, eventuell Ausgliedern von Zonen mit tieferem Pegel).

Für die Beurteilung wird der Dauerschallpegel in jeder Stunde am lautesten Ort im Publikumsbereich herangezogen. Wird an einem anderen Punkt gemessen, zum Beispiel beim Mischpult, ist zuvor die Schallpegeldifferenz zwischen dem lautesten Ort und dem Messpunkt mit einem geeigneten Testgeräusch zu ermitteln und unter Einbezug einer Sicherheitsmarge zu berücksichtigen.

Die Schall- und Laserverordnung regelt nur den Schutz der Besucher der Veranstaltung. Je nach Situation kann der Schutz der Anwohner vor Lärmbelästigungen und Nachtruhestörungen zu restriktiveren Auflagen führen. Wo in Musiklokalen oder an Veranstaltungen Arbeitnehmende im Einsatz sind, die dem UVG unterstehen, gelten für diese die Lärmgrenzwerte nach Ziffer 4.7.

Ausführliche Informationen finden Sie unter www.suva.ch/laerm oder www.schallundlaser.ch.

4.11 SIA-Norm 181, Schallschutz im Hochbau

Die SIA-Norm 181 «Schallschutz im Hochbau» formuliert bauakustische Anforderungen an Gebäudeteile (z. B. Luft- und Trittschalldämmung von Trennwänden und Decken, Luftschalldämmung von Fassaden, Geräusche von haustechnischen Installationen und Anlagen). Besonderes Gewicht wird auf die international genormten Berechnungs-, Mess- und Beurteilungs-

[1] Schallpegel von Ultraschall und Infraschall sind ohne Frequenzbewertung (linear) zu messen.

methoden gelegt. Die Norm beschreibt auch raumakustische Anforderungen für Unterrichtsräume und Sporthallen.

4.12 Lärmdeklaration nach Maschinenrichtlinie

Zum Abbau der Handelshemmnisse im europäischen Wirtschaftsraum erlässt der Rat der Europäischen Gemeinschaft Richtlinien (EG), die von den einzelnen Ländern in nationales Recht übernommen werden. So hat die Schweiz EG-Richtlinien, die den internationalen Handel mit Produkten betreffen, in Bundesgesetze überführt. Dazu gehört auch die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (vom 17. Mai 2006, gültig ab 29. Dezember 2009), die im Folgenden kurz vorgestellt wird:

Gemäss dieser Richtlinie müssen Maschinen so konzipiert und gebaut sein, dass Gefahren durch Lärmemissionen auf das niedrigste erreichbare Niveau gesenkt werden. Dabei sind der technische Fortschritt und alle verfügbaren Mittel zur Lärmminderung zu berücksichtigen. Die Lärmbekämpfung muss in erster Linie an der Quelle erfolgen.

Der Maschinenlieferant muss an der Maschine bzw. in der Betriebsanleitung und in Verkaufsprospekten, in denen die Leistungsmerkmale beschrieben werden, die Schallemissionswerte deklarieren (2006/42/EG, Ziffer 1.7.4.2, Absatz u, bzw. Ziffer 1.7.4.3). Welche Schallemissionswerte anzugeben sind, ist in Tabelle 11 dargestellt.

L_{pA}	Anzugebender Emissionswert
≤ 70 dB(A)	Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz: $L_{pA} \leq 70$ dB oder L_{pA} = … dB
> 70 dB(A)	Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz: L_{pA} = … dB
> 80 dB(A)	Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz: L_{pA} = … dB Schallleistungspegel: L_{WA} = … dB

Tabelle 11 Lärmdeklaration nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

Ist der Standort des Arbeitsplatzes an einer Maschine nicht eindeutig festgelegt, kann der Emissions-Schalldruckpegel in 1 m Abstand von der Maschinenoberfläche angegeben werden.

Überschreitet der Höchstwert des momentanen C-bewerteten Schalldruckpegels L_{Peak} am Arbeitsplatz 130 dB(C), dann ist dieser Emissionswert zusätzlich anzugeben.

Die Deklarationspflicht bei beweglichen Maschinen (Fahrzeugen) ist in der Regel in separaten Richtlinien geregelt, unter anderem für Baumaschinen und Stapler in der Maschinenlärmverordnung MaLV.

4.13 Massnahmen zum Schutz des Gehörs nach der EU-Lärm-Richtlinie

Massgebend für den Schutz des Gehörs ist die Richtlinie 2003/10/EG der Europäischen Union vom 6. Februar 2003 (EU-Lärm-Richtlinie), die am 15. Februar 2006 in der EU in Kraft getreten ist.

Die Auslösewerte und Expositionsgrenzwerte der EU-Lärm-Richtlinie sind in Tabelle 12 gegenübergestellt. Dabei wird im Normalfall vom Tages-Expositionspegel

Auslösewerte/ Expositionsgrenzwerte	RL 2003/10/EG
untere Auslösewerte	$L_{EX,8h}$ = 80 dB(A) bzw L_{Peak} = 135 dB(C)
obere Auslösewerte	$L_{EX,8h}$ = 85 dB(A) bzw L_{Peak} = 137 dB(C)
Expositionsgrenzwerte unter Berücksichtigung der dämmenden Wirkung des persönlichen Gehörschutzes	$L_{EX,8h}$ = 87 dB(A) bzw L_{Peak} = 140 dB(C)

Tabelle 12 Auslösewerte und Expositionsgrenzwerte der EU-Lärm-Richtlinie

$L_{EX,8h}$ ausgegangen. Bei stark schwankenden täglichen Lärmbelastungen ist die Ermittlung eines Wochen-Expositionspegels zulässig.

Die gemäss EU-Lärm-Richtlinie erforderlichen Massnahmen sind in Tabelle 13 zusammengestellt.

Die Schweiz übernimmt die EU-Lärm-Richtlinie nicht in das nationale Recht. Die seit 1. Januar 2007 in der Schweiz geltenden Grenzwerte für Lärm am Arbeitsplatz weichen aber nicht wesentlich von denjenigen der Richtlinie 2003/10/EG ab.

Massnahme	**Untere Auslösewerte**	**Obere Auslösewerte**
Informations- und Unterweisungspflicht	x	x
Verpflichtung des Arbeitgebers, Gehörschutz zur Verfügung zu stellen	x	x
Anspruch auf vorbeugende audiometrische Untersuchung, wenn Bewertung und Messung auf ein Gesundheitsrisiko hindeuten	x	x
Anspruch Untersuchung Gehör durch Arzt bzw. in Verantwortung des Arztes		x
Gehörschutz-Tragpflicht		x
Lärmminderungsprogramm		x
Lärmbereichskennzeichnung, Kennzeichnung der Bereiche, wo der obere Auslösewert überschritten werden kann		x
Gesundheitsakte, falls Bewertung und Messung eine besondere Gefährdung ergeben	(x)	(x)

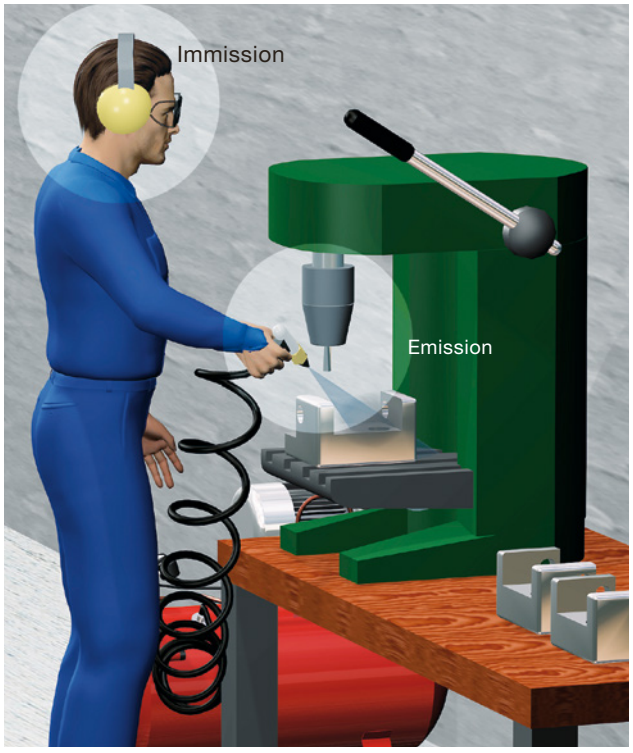
Tabelle 13 Erforderliche Massnahmen gemäss EU-Lärm-Richtlinie

5 Schallmesstechnik

5.1 Ziel der Lärmmessung

Lärmmessungen haben zum Ziel, eine Lärmsituation objektiv zu erfassen. Die Ergebnisse sollen reproduzierbar sein, und zwar unabhängig vom eingesetzten Messgerät und der Person, welche die Messung vornimmt. Deshalb wurden die Eigenschaften der Messgeräte und die Messmethoden in internationalen Normen festgelegt.

Schallimmissionsmessungen erfassen die Lärmeinwirkung an einem Ort oder auf eine Person, sind also auf den Empfänger bezogen (Bild 45). Bei dieser Messung ersetzt das Mikrofon das Ohr, und die Eigenschaften des Ohrs werden mit technischen Mitteln angenähert, vor allem durch die Gewichtung der verschiedenen Frequenzen und die Bewertung des zeitlichen Verlaufs. Für die Gefährdung des Ohrs ist die einwirkende Schallenergie ausschlaggebend. Entscheidend ist deshalb derjenige Schallpegel, der bezüglich der Schallenergie repräsentativ ist für die gesamte Messzeit, nämlich der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{eq}.



45 Schallemission und Schallimmission

Schallemissionsmessungen beziehen sich auf die Schallquelle. Es wird zum Beispiel die von einer Maschine abgestrahlte Schallleistung im Hinblick auf die Lärmdeklaration ermittelt. Quellenbezogene Messungen – meist mit Frequenzanalyse – dienen auch als Grundlage für die technische Lärmbekämpfung.

5.2 Elemente von Schallmessgeräten

Die Grundelemente akustischer Messgeräte werden im Folgenden am Beispiel eines integrierenden Schallpegelmessers erläutert (Bild 46).

Das **Messmikrofon** reagiert weitgehend richtungsunabhängig und gibt eine elektrische Spannung ab, die zum Schalldruck proportional ist. Üblich sind Kondensatormikrofone mit einem Durchmesser von ½ Zoll (12,7 mm), einer Empfindlichkeit von zirka 50 mV/Pa und einem Frequenzgang (im Freifeld bei frontalem Schalleinfall) bis zu 10 oder 20 kHz, entweder vorpolarisiert (Elektret-Mikrofone) oder mit externer Polarisationsspannung von 200 Volt. Für Spezialanwendungen (höhere Pegel, höhere Frequenzen) werden unempfindlichere oder kleinere Mikrofone eingesetzt. Die typischen Daten gebräuchlicher Messmikrofone gehen aus Tabelle 14 hervor.

Unmittelbar nach dem Mikrofon folgt der Impedanzwandler («Vorverstärker»). Danach kann oft ein Verlängerungskabel dazwischengeschaltet werden.

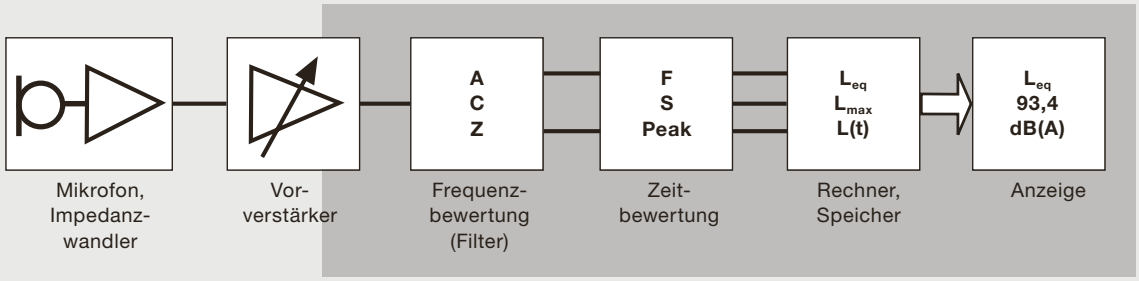
Die **Bewertungsfilter** A und C (siehe Ziffer 2.7) wie auch das nicht mehr gebräuchliche Filter B entstanden als Näherungen von «Kurven gleicher Lautstärke» für verschiedene Pegel. Heute wird vorwiegend das Filter A verwendet, das der Schallübertragung des menschlichen Gehörs am besten entspricht. Das Filter C wird bei Impulslärm zur Messung des Spitzenschallpegels L_{Cpeak} eingesetzt.

Die Dämpfungswerte der A- und der C-Bewertung bei verschiedenen Frequenzen sind in Tabelle 15 angegeben. Dämpfungswerte bei anderen Frequenzen können Bild 11 entnommen werden.

In jedem Fall ist das verwendete Filter beim Resultat einer Messung anzugeben, zum Beispiel in der Form L = x dB(A) oder L_A = x dB.

Die **Zeitbewertung** oder Zeitkonstante bestimmt die Reaktion der Anzeige auf Pegeländerungen. Man spricht von einer gleitenden Mittelung, die zurückliegende Schallsignale allmählich «vergisst». Die genormten Zeitkonstanten sind in Tabelle 16 aufgelistet.

Die Zeitkonstante «Slow» dämpft Pegelschwankungen und erleichtert dadurch das Ablesen, während die An-



46 Aufbau eines integrierenden Schallpegelmessers (stark vereinfacht). In neueren Geräten werden verschiedene Frequenz- und Zeitbewertungen oft simultan eingesetzt. Die grau hinterlegten Funktionen sind heute meist in digitaler Technik realisiert.

Durchmesser		**½ Zoll**	**½ Zoll**	**¼ Zoll**	**¼ Zoll**	**⅛ Zoll**
Entzerrung		Freifeld	Freifeld	Freifeld	Druck	Druck
Empfindlichkeit	**[mV/Pa]**	50	12–14	4,0	1,4	1,0
Max. L_{Peak} nur Mikrofon	**[dB]**	146	160	164	172	168
Max. L_{Peak} mit Messgerät	**[dB]**	140	152	162	172	174[1]
Grundgeräusch	**[dB(A)]**	15	24	39	47	56
Frequenzgang bis max.	**[kHz]**	20[2]	40	70	100	140

Tabelle 14 Messmikrofone

[1] **Mikrofonverzerrungen > 3 %**
[2] **bei hochwertigen Mikrofonen; nach IEC 61672 ist nur ein Frequenzgang bis 12 500 (Klasse 1) bzw. 8000 Hz (Klasse 2) gefordert!**

f	**[Hz]**	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16 000
A	**[dB]**	– 39,4	– 26,2	– 16,1	– 8,6	– 3,2	0	+ 1,2	+ 1,0	– 1,1	– 6,6
C	**[dB]**	3,0	– 0,8	– 0,2	0	0	0	– 0,2	– 0,8	– 3,0	– 8,5

Tabelle 15 Dämpfungswerte der Filter A und C bei verschiedenen Frequenzen f

zeige in der Stellung «Fast» vermehrt die Schwankungen des Signals wiedergibt (Bild 47). Die noch kürzere Zeitkonstante «Impulse» (in Schallmessgeräten nur optional vorhanden und in der Schweiz nicht verwendet) wurde geschaffen, um die Lautstärkeempfindung nachzubilden (was aber nach heutigem Wissen mit «Fast» besser gelingt). Der Rücklauf der Anzeige wird stark verlangsamt. Diese Zeitbewertung ergibt bei schwankendem Signal höhere Werte als «Fast» oder «Slow». Um den Schalldruckspitzenwert zu erfassen, wurde die Zeitbewertung «Peak» eingeführt. Sie weist eine extrem kurze Anstiegszeit im Mikrosekundenbereich auf.

Bei einem konstanten Sinussignal (Eichton) liefern «Slow», «Fast» und «Impulse» dasselbe Ergebnis. Der «Peak»-Pegel hingegen liegt um 3 dB höher, was dem Verhältnis zwischen Spitzenwert und Effektivwert entspricht.

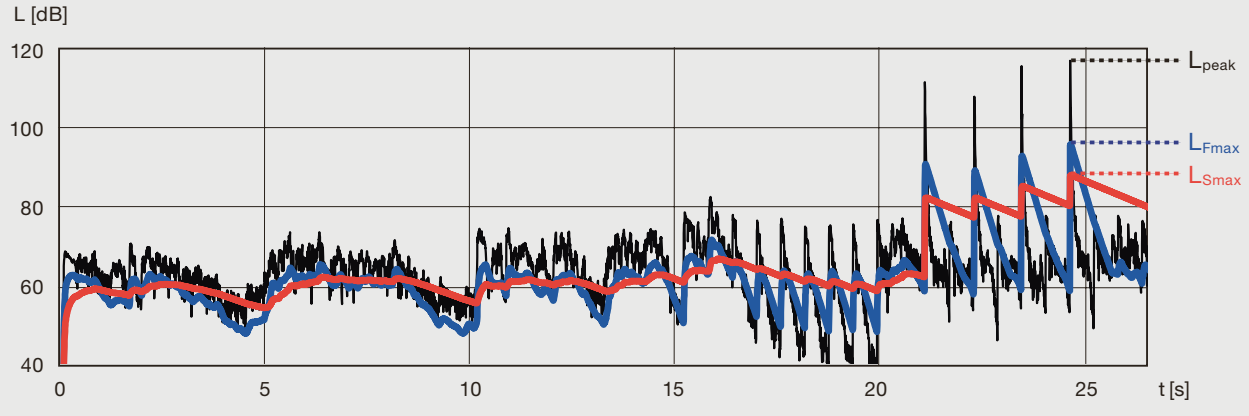
Bei Lärmmessungen an Arbeitsplätzen wird kaum je der zeitliche Verlauf des Schallpegels «Fast» oder «Slow» ausgewertet, sondern dessen Maximum L_{Fmax}/L_{Smax} und Minimum L_{Fmin}/L_{Smin}.

Kurze Schallimpulse ergeben je nach Zeitbewertung (das heisst Anstiegszeit) völlig unterschiedliche Maximalpegel, wie Tabelle 17 am Beispiel eines Sturmgewehrknalls zeigt. In solchen Fällen ist eine Pegelangabe ohne Spezifikation der verwendeten Zeitkonstante wertlos.

Bezeichnung	Abkürzung		Gleichrichter [1]	Zeitkonstante	Rücklauf
Langsam	Slow	S	Effektivwert / RMS	1 s [2]	1 s [2]
Schnell	Fast	F	Effektivwert / RMS	125 ms [2]	125 ms [2]
Impuls	Impulse	I	Effektivwert / RMS	35 ms [2]	3 s
Spitze	Peak (hold) [3]	P	Spitzenwert / Peak	10–50 µs	2 s [3]

Tabelle 16 Zeitbewertungen in der Schallmesstechnik

[1] Effektivwert = energetischer (quadratischer) Mittelwert = RMS-Wert («root mean square»)
[2] Diese Zeitkonstanten gelten für die quadrierte Signalspannung
[3] Oder kein Rücklauf: Anzeige bleibt auf Maximalausschlag



47 Spitzenwert «Peak» (schwarz) sowie Effektivwerte «Fast» (blau) und «Slow» (rot) eines Schallsignals

Maximalpegel Peak	154 dB(A
Maximalpegel Impulse	136 dB(A)
Maximalpegel Fast	130 dB(A)
Maximalpegel Slow	121 dB(A)

Tabelle 17 Gewehrknall am stärker exponierten Ohr des Schützen (Sturmgewehr 90)

Die **Anzeige** umfasst je nach Gerät einen Bereich von 20 bis (bei Digitalgeräten) 100 dB. Die bevorzugt eingesetzten Flüssigkristallanzeigen können oft gleichzeitig den Mittelungspegel (numerisch), den Momentanpegel (als Säule oder Balken), den Maximalpegel sowie weitere Daten anzeigen.

Digitale **Schnittstellen** erlauben es, Resultate auf einen Drucker oder einen PC zu übertragen, einen Bildschirm anzuschliessen oder das Gerät von einem PC aus zu steuern.

Der **Rechner** ermittelt und speichert alle Messwerte, steuert und überwacht das Gerät. Zunehmend erfolgt aber auch die Signalverarbeitung (z. B. Frequenz- und Zeitbewertung) mit digitalen Signalprozessoren.

5.3 Geräte für die Messung und Analyse von Lärm am Arbeitsplatz

Moderne Smartphones verfügen mit Mikrofon, Analog-Digital-Wandler, Signalprozessor und Anzeige über alle Komponenten, die es für ein Schallmessgerät braucht. Es erstaunt daher nicht, dass sehr viele Apps zur Schallmessung mit Smartphones angeboten werden. Vergleichsmessungen haben jedoch gezeigt, dass nur eigentliche Schallpegel-Messgeräte zuverlässige Ergebnisse liefern.

Einfache Schallmessgeräte (Bild 48) sind schon ab 50 Franken (!) erhältlich; sie genügen aber den Normen nicht und dürfen nur für orientierende Messungen eingesetzt werden. Während die Preise für **einfache integrierende Geräte** (Klasse 2 nach EN 61672) bei 500 bis 1000 Franken liegen, kosten Präzisionsgeräte (Klasse 1) mit vielseitiger Datenerfassung und -speicherung bis zu 10 000 Franken.

Ideal für Lärmmessungen am Arbeitsplatz sind integrierende Schallpegelmesser, die den äquivalenten Dauerschallpegel L_{eq} bestimmen können (Bild 49). Eine einfache Bedienlogik mit direkt zugeordneten Tastenfunktionen erhöht vor allem beim Gelegenheitsbenutzer die Bedienungssicherheit.

Professionelle integrierende Schallpegelmesser (Bild 50) erfassen gleichzeitig verschiedene Messwerte wie Spitzenpegel, Maximalpegel «Fast» und L_{eq}, dies

48 Preisgünstige Schallpegelmesser

49 Preisgünstiger integrierender Schallpegelmesser

50 Integrierende Präzisionsschallpegelmesser mit Frequenzanalyse und Schallaufzeichnung

51 Lärmdosimeter

52 An einem Kopfbügel befestigtes Messmikrofon zur ohrnahen Messung der Schallbelastung beim Musizieren

oft parallel mit verschiedenen Frequenzbewertungen (A, C oder Z) oder mit Frequenzanalysen.

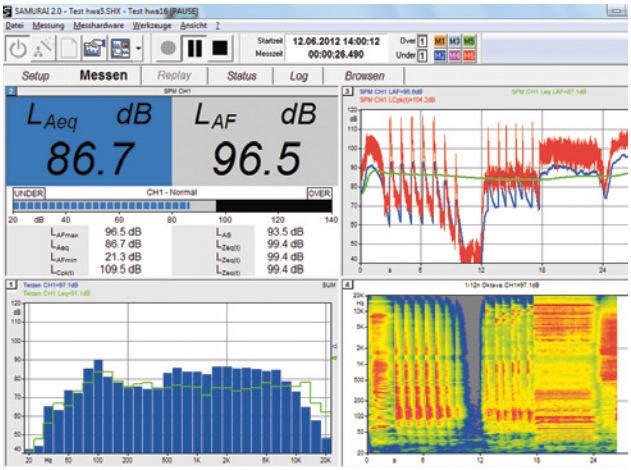
Mehrkanalige Schallpegelmesser werden beispielsweise für die Bestimmung der Lärmemissionen von Maschinen eingesetzt (vgl. Ziffer 4.5 und 4.12) oder wenn die Schallpegel eines Ereignisses (z. B. der Knall eines Material- oder Elektro-Prüfstands) an verschiedenen Messpunkten gleichzeitig erfasst werden sollen (Nahbereich der Lärmquelle, nächster Punkt ausserhalb der Abschrankung, Kontrollraum).

Lärmdosimeter sind integrierende Schallpegelmesser im Taschenformat mit vielfältiger Datenspeicherung (z. B. L_{eq} pro Minute), die sich dank kompakter Bauweise besonders für Langzeitmessungen und zur Messung der Lärmbelastung an mobilen Arbeitsplätzen eignen (Bild 51). Es gibt Geräte mit integriertem Mikrofon und solche, deren Mikrofon über ein Kabel vom Gerät abgesetzt und auf der Schulter oder am Helm des Trägers befestigt werden kann. Für Messungen der Schallbelastung durch ohrnahe Quellen wie Musikinstrumente (Geige, Bratsche, Querflöte, Harfe) empfiehlt sich, das Mikrofon an einem Kopfbügel zu befestigen und 5 bis 10 cm neben dem Ohr der Person zu platzieren (Bild 52). Lärmdosimeter sollten den Anforderungen der Norm EN 61252 entsprechen. Neuere Modelle erfassen Schallpegel von zirka 40 bis über 140 dB in einem einzigen Messbereich. Oft registrieren sie zusätzlich, wie lange ein vorgegebener Pegel überschritten wurde und ob während der Messung eine Übersteuerung auftrat.

Referenzschallquellen (Pistonphon, Kalibrator, Bild 53) werden auf das Mikrofon aufgesteckt und erzeugen einen definierten Schalldruck. Damit kann die Empfindlichkeit und Funktion der ganzen Messkette kontrolliert und nötigenfalls justiert werden. Geregelte Kalibratoren mit eingebautem Referenzmikrofon sind stabiler als ungeregelte Typen. Wird ein 1-kHz-Sinuston als Referenzsignal verwendet, hat die Wahl des Frequenzfilters (A-, C- oder Z-Filter) keinen Einfluss auf den gemessenen Schallpegel (siehe Tabelle 15 auf Seite 43). Gewisse Schallmessgeräte bieten eine eingebaute Kalibrierfunktion, die aber nur die elektronischen Verstärker- und Filter-Komponenten des Geräts überprüft; das Mikrofon als empfindlichste Komponente eines Schallmessgeräts wird dadurch nicht geprüft. Eine elektronische Überprüfung des Mikrofonzustands ist nur bei speziellen Mikrofonen möglich, die für den autonomen Einsatz im Freien konzipiert wurden.

Zu professionellen Schallpegelmessern sind zahlreiche **Funktionserweiterungen** als (kostenpflichtige) Option erhältlich. Wie in der Unterhaltungselektronik hat die Miniaturisierung auch bei Schallmessgeräten Ein-

53 Referenzschallquellen/Kalibratoren



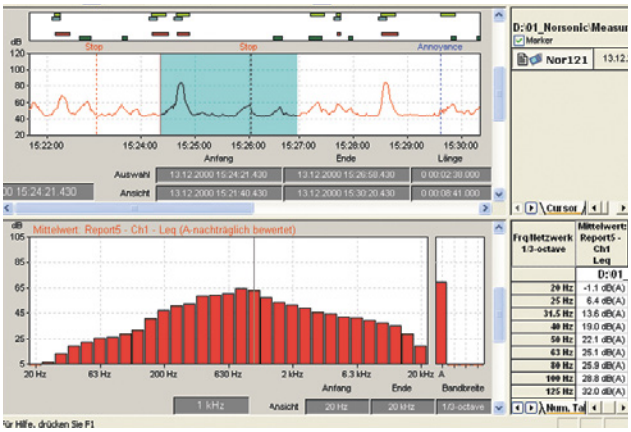
54 Verschiedene Messwert-Darstellungen auf einem modernen Mehrkanal-Schallpegel-Analysator

zug gehalten, erlauben doch heute schon batteriebetriebene Handgeräte detaillierte Analysen und Aufzeichnungen (vgl. Bild 54), die früher nur mit netzbetriebenen Laborgeräten möglich waren.

Frequenzanalysen zeigen unter anderem, welche Frequenzen in einem Geräusch dominant sind und lassen gewisse Aussagen über die Geräuschentstehung zu. Gebräuchlich sind Oktav- und Terzbandanalysen sowie Schmalbandanalysen (siehe Ziffer 2.10). Viele Geräte sind auch in der Lage, Differenzspektren zu bilden, was unter anderem in der Qualitätskontrolle von Produkten Anwendung findet. Oktav- oder Terzbandanalysen (auch 1/12-Oktavanalysen) korrelieren mit den Eigenschaften des Gehörs. Schmalband- oder FFT-Analysen[1] werden vor allem in der technischen Lärmbekämpfung eingesetzt, um Zusammenhänge zwischen (mechanischen oder elektrischen) Vorgängen in der Maschine und der Schallabstrahlung zu erkennen.

Um den **zeitlichen Verlauf des Schallpegels** zu registrieren – sowohl kurzfristig (z. B. Nachhallzeitmessung) als auch über längere Zeit (z. B. Pegelverlauf über 24 h) –, wurden früher Schallpegelschreiber ein-

[1] Fast-Fourier-Transformation

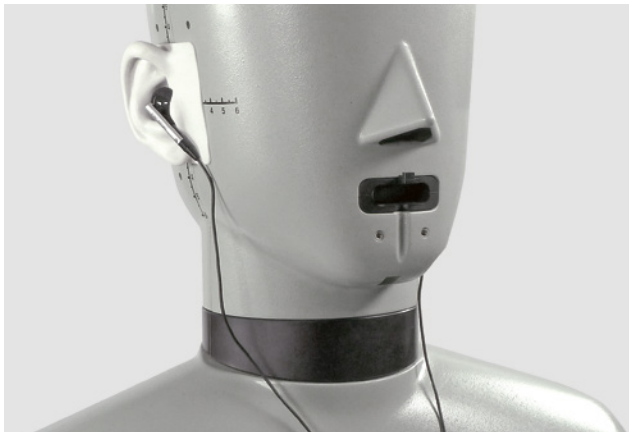


55 Computer-Programm zur detaillierten Analyse von Schallmessungen

gesetzt. Heute wird diese Funktion direkt vom Schallpegelmesser wahrgenommen. Detaillierte Auswertungen von einzelnen Ereignissen oder bestimmten Zeitabschnitten werden mit speziellen Auswertungsprogrammen am PC durchgeführt (Bild 55).

Ohrnahe Schallquellen

Die Schallbelastung durch Telefone, Kopf- oder Ohrhörer kann nicht mit normalen Mikrofonen gemessen werden. Hierfür werden spezielle **Mess-Kuppler** oder **Kunstköpfe** (Bild 56) eingesetzt, die auch die Impedanz (= frequenzabhängiger akustischer Widerstand)



56 **Messung der Wiedergabe-Lautstärke eines Kopfhörers mit einem Kunstkopf**

des menschlichen Ohres nachbilden. Die Resonanzen, die im «Gehörgang» des Kunstkopfes oder des Mess-Kupplers auftreten, sind durch eine Freifeldkorrektur zu kompensieren, um korrekte absolute Schallpegel zu messen. Kunstköpfe, wie sie in der Tontechnik verwendet werden, sind für Schallpegelmessungen mit ohraufliegenden oder im Gehörgang angebrachten Schallgebern ungeeignet, da sie die Impedanz des menschlichen Gehörs nicht nachbilden.

Das technisch aufwendige MIRE-Verfahren (**M**icrophone **i**n **r**eal **e**ar) nach ISO 11904-1, bei welchem Miniaturmikrofone für Messungen am oder im menschlichen Ohr verwendet werden, profitiert zwar von der realen Trommelfellimpedanz, verlangt aber eine individuell ermittelte und von der Mikrofonposition abhängige Freifeldkorrektur.

Integrierte Tonaufzeichnung
Im Hinblick auf die Identifikation von Schallereignissen, die Dokumentation oder die nachträgliche Detailanalyse im Labor bieten neuere Schallmessgeräte die Möglichkeit, das vom Mikrofon aufgenommene Schallsignal intern aufzuzeichnen, sei es vollständig oder zum Beispiel nur, wenn der Schallpegel einen bestimmten Schwellenwert überschreitet. Die Aufzeichnung erfolgt wahlweise unkomprimiert (wav, PCM) oder mit Datenreduktion (im Format mp3, wma usw.) auf einer Speicherkarte. Aufzeichnungen mit Datenreduktion sollten nur für die Dokumentation oder Identifikation von Schallsignalen angewendet werden, aber keinesfalls für nachträgliche Analysen. Typischerweise erfolgt die Aufzeichnung mit ca. 50 kHz Abtastrate und 24 Bit Auflösung; dann fallen ohne Datenkompression pro Minute rund 9 Megabyte Daten an.

Übrigens ist es nie falsch, sich während oder nach einer Messung auch einmal das Messsignal anzuhören, lassen sich doch dadurch Störungen durch Wind, Körperschall oder Wackelkontakte einfach entlarven und Messfehler vermeiden!

5.4 Praktische Hinweise für Schallmessungen

Zur Vorbereitung von Schallmessungen sind folgende Fragen zu beantworten:
- Was bezweckt die Messung? Welche Daten sollen erfasst, wie sollen sie ausgewertet und mit welchen Kriterien verglichen werden? Welche Normen sind anzuwenden?
- Welchen Stellenwert hat die Messung? Handelt es sich um eine Expertise, eine Kontrolle oder nur um eine Abschätzung? Genügt eine Momentaufnahme oder ist statistische Aussagekraft erforderlich?
- Welche Schallereignisse sind zu erwarten: Pegelbereich, Frequenzbereich, Zeitverlauf?
- Wird der in den technischen Daten definierte Anwendungsbereich der Messgeräte eingehalten?
- Mit welchen Störeinflüssen ist zu rechnen: Wind, Schallreflexionen, andere Lärmquellen, extreme Temperaturen?

Vor der Messung sind alle Geräte, die Geräte-Einstellungen und vor allem der Zustand der Batterien zu prüfen. Die Überprüfung mit einem akustischen Kalibrator umfasst – im Gegensatz zu einem elektrischen Referenzsignal – die ganze Messkette einschliesslich Mikrofon und ist deshalb vorzuziehen.

Während der Messung ist Folgendes zu beachten:
- Ein Windschirm aus offenporigem Schaumstoff schützt das Mikrofon gegen Wind, Regen und Staub.
- Erschütterungen stellen kein Problem dar, solange das Messgerät von Hand gehalten wird, können aber

bei tiefen Frequenzen das Ergebnis verfälschen, wenn Mikrofon oder Schallpegelmesser auf einem Stativ montiert sind.
- Bei personenbezogenen Messungen soll das Mikrofon die Stelle der Ohren einnehmen; es darf aber nicht unmittelbar neben dem Kopf oder nahe bei Gegenständen platziert werden, weil Schallreflexionen den Pegel erhöhen können.
- Damit Reflexionen an der Messperson möglichst wenig ins Gewicht fallen, soll das Mikrofon mindestens um Armlänge vom Körper der Messperson entfernt sein.
- Selbst kurzes Übersteuern («Overload») ist unbedingt zu vermeiden.

Auch Geräte der Klasse 1 können bei Signalen im Frequenzbereich von 10 kHz bis 20 kHz (z. B. bei subharmonischen Frequenzen von Ultraschallgeräten) aufgrund der grossen erlaubten Toleranzen sehr unterschiedliche Resultate liefern. In diesen Fällen ist es wichtig, dass der Frequenzgang des verwendeten Mikrofons bis 20 kHz reicht oder mindestens genau bekannt ist (siehe auch Suva-Publikation 66077.d «Ultraschallanlagen als Lärmquellen»).

Aus der Differenz zwischen der C-Bewertung und der A-Bewertung kann auch ohne Frequenzanalyse auf den Anteil tiefer Frequenzen geschlossen werden: je grösser die Differenz, desto grösser der tieffrequente Anteil. Bei einem dominierenden Brummton (Reinton) kann sogar auf dessen ungefähre Frequenz geschlossen werden (siehe Bild 11 unter Ziffer 2.7 und Tabelle 18).

Falls kein integrierender Schallpegelmesser zur Verfügung steht, lässt sich der L_{eq} aus dem Schwankungsbereich des momentanen Schallpegels «Slow» abschätzen: Umfasst der Schwankungsbereich 0 bis 5 dB, so liegt der L_{eq} ungefähr in der Mitte zwischen Minimum und Maximum. Umfasst der Schwankungsbereich 5 bis 10 dB, so liegt der L_{eq} ungefähr um einen Drittel des Schwankungsbereichs unter dem Maximum. Ist der Schwankungsbereich grösser als 10 dB, so ist unbedingt ein integrierender Schallpegelmesser zu verwenden.

Wichtig ist, dass die Messdauer einen repräsentativen Zeitausschnitt erfasst, also mindestens einen Arbeitszyklus. Mehrfachmessungen gleicher Situationen erlauben, die Wiederholgenauigkeit zu beurteilen.

Die Digitalanzeige moderner Messgeräte könnte dazu verführen, die Reproduzierbarkeit von Schallmessungen zu überschätzen. Wenn auch die Genauigkeit der Messinstrumente einen hohen Stand erreicht hat, so können die Wahl des Messpunkts und vor allem der Betriebszustand der Maschine und das bearbeitete Material das Ergebnis wesentlich beeinflussen. Generell sollten Schallpegelwerte nur in ganzen Dezibel angegeben werden, ausser bei Zwischenresultaten (Vermeidung von Rundungsfehlern bei der Weiterverarbeitung).

Das **Protokoll** einer Schallmessung muss die wichtigsten Randbedingungen und Daten enthalten:
- Ort, Datum, Zeitpunkt der Messung, Zweck der Messung, angewendete Normen
- Foto, Skizze oder Beschreibung der Örtlichkeiten, Raumakustik, Mikrofonposition, Höhe des Mikrofons über Boden
- Identifikation und technische Daten der Lärmquelle(n), Betriebszustand der Lärmquelle(n) (Leerlauf, Belastung usw.)
- verwendetes Schallmessgerät, alle Einstellungen (Pegel, Filter, Zeitkonstante), Messdauer oder Mittelungszeit
- Messresultate: Schwankungsbereich des Momentanpegels, Mittelungspegel

Pegeldifferenz dB(C) – dB(A)	**dB**	36,4	25,4	15,9	8,6	3,2
Dominierende Frequenzkomponente	**Hz**	31,5	63	125	250	500

Tabelle 18 **Pegeldifferenz dB(C) – dB(A) als Funktion der Frequenz**

- Ergebnisse der Befragung: Auslastungszeiten der Maschinen, Anteil verschiedener Betriebszustände oder Tätigkeiten, Expositionszeit
- Bemerkungen und Ergänzungen
- Diagramme, Frequenzspektren

Aufgrund des Protokolls soll die Messung reproduzierbar sein.

5.5 Lärmmessungen der Suva

Zur Bestimmung der Lärmexposition an Arbeitsplätzen verwenden die Lärmschutz-Spezialisten der Suva integrierende Präzisionsschallpegelmesser mit Frequenzanalysen und Aufzeichnungsmöglichkeit und gehen nach der tätigkeitsbezogenen Messstrategie (siehe Ziffer 6.1.2, Seite 51) vor. Bei komplexen Tätigkeiten (z. B. Betriebspersonal von Kraftwerken oder Kehrichtverbrennungsanlagen) werden Langzeitmessungen mit Dosimetern durchgeführt. Im Rahmen der Messungen werden auch die vom Betrieb getroffenen Schutzmassnahmen überprüft und zu treffende technische oder persönliche Lärmschutzmassnahmen vereinbart.

Für die Messung von Ultraschall, Infraschall und Knallereignissen stehen spezielle Mikrofone und Messgeräte zur Verfügung, und für Messungen an Kopfhörern, Handsprechfunkgeräten, Telefonhörern, aktiven Gehörschutzkapseln und anderen «ohrnahen Schallquellen» werden akustische Kuppler oder ein Kunstkopf (Head and Torso Simulator HATS) eingesetzt.

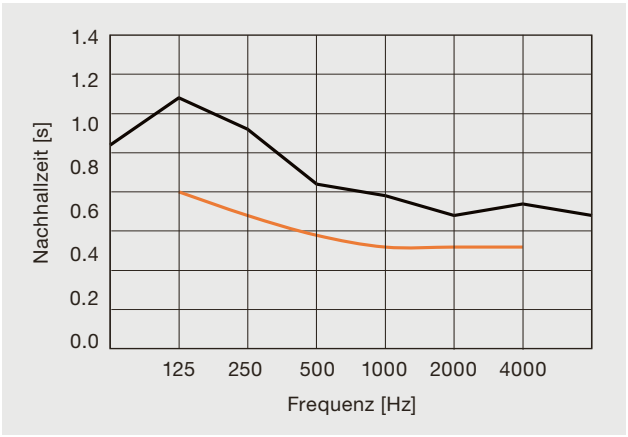
Nach Messungen im Sinne des Arbeitnehmerschutzes werden dem Betrieb die zu treffenden Massnahmen mit Umsetzungstermin schriftlich bestätigt.

Stehen die Schallimmissionen im Vordergrund, so enthält das Schallmessprotokoll (siehe Ziffer 6.4) Angaben über die Schallpegel und die Expositionszeiten sowie über die erforderlichen Massnahmen.

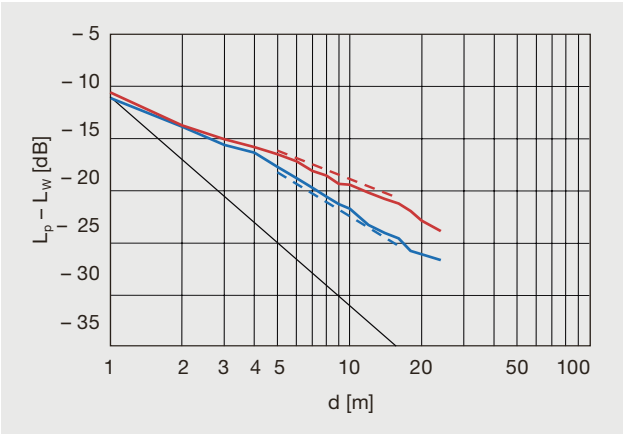
Betreffen die Messungen die Schallemissionen von Lärmquellen und mögliche Lärmbekämpfungsmassnahmen, so enthält das Messprotokoll weitergehende Informationen, zum Beispiel eine Frequenzanalyse und einen Plan oder eine Skizze mit der Lage der einzelnen Messpunkte.

Bei Schallleistungsmessungen an Maschinen dokumentiert das Messprotokoll alle wesentlichen Einflussgrössen und Zwischenergebnisse.

Falls raumakustische Messungen stattgefunden haben, sind im Protokoll die Nachhallzeiten in den einzelnen Frequenzbändern (Bild 57) oder eine Schallausbreitungskurve (Bild 58) wiedergegeben. Gegebenenfalls wird eine Lärmkarte (siehe Bild 78, Seite 68) erstellt, welche die örtliche Verteilung des Schallpegels darstellt.



57 Nachhallzeit



58 Schallausbreitungskurven
rot: Raum mit mangelhafter Raumakustik, DL2 = 2.7 dB
blau: Raum mit guter Raumakustik, DL2 = 4.2 dB

6 Beurteilung der Lärmbelastung

6.1 Bestimmung des Lärmexpositionspegels L_{EX}

6.1.1 Grundlagen

Um die Gehörgefährdung einer Tätigkeit abzuschätzen, reicht es grundsätzlich aus, die mittlere Lärmbelastung der Tätigkeit mit dem Grenzwert zu vergleichen. In der Praxis stellt sich aber bald die Frage, wie denn die mittlere Lärmbelastung bestimmt werden kann. Schliesslich herrschen nicht an jedem Arbeitsplatz während der ganzen Arbeitszeit die gleichen Lärmverhältnisse.

Werden beispielsweise in einer Druckerei mehrere Kleinaufträge verarbeitet, so machen die Umrüstzeiten, in welchen keine nennenswerte Lärmbelastung besteht, einen wesentlichen Anteil der Arbeitszeit aus. Bei Grossaufträgen laufen die Maschinen hingegen während mehreren Stunden ohne Pausen durch. Bei vielen Berufen wie Schreiner, Schlosser, Forstwart, Bauarbeiter oder Mechaniker wechseln sich lärmige und ruhigere Tätigkeiten ab. Natürlich ändert die prozentuale Zusammensetzung der verschiedenen Tätigkeiten auch je nach Auftrag oder Situation.

59 In einigen Berufen wechselt die Lärmbelastung je nach Jahreszeit.

6.1.2 Berechnung des Lärmexpositionspegels L_{EX}

Als Mass für die Lärmbelastung definieren ISO 1999 [1] und ISO 9612 [2] den Lärmexpositionspegel L_{EX}. Für die Beurteilung der beruflichen Lärmbelastung stützt sich die Suva auf diese beiden Normen.

Eine erhebliche Rolle bei der Bestimmung der Lärmbelastung spielt die Frage, welche Zeitdauer betrachtet wird. Die Suva verwendet bei der Lärmbeurteilung den Tagesexpositionspegel $L_{EX,8h}$ und den Jahresexpositionspegel $L_{EX,2000h}$ als Mass für die Lärmbelastung. Da für das Entstehen einer Lärmschwerhörigkeit in aller Regel die Gehörbelastung über mehrere Jahre entscheidend ist, wird unter der allgemeinen Bezeichnung L_{EX} der $L_{EX,2000h}$ verstanden und mit Lärmexpositionspegel bezeichnet.

Ist der Lärmpegel während der gesamten Arbeitszeit gleich und ist eine Person während der gesamten Arbeitszeit dem Lärm ausgesetzt, so entspricht der äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} (siehe Ziffer 2.8.1), der am Arbeitsplatz gemessen wurde, direkt dem Lärmexpositionspegel L_{EX}. Für zeitlich schwankende Signale bestehen verschiedene Möglichkeiten, den Lärmexpositionspegel zu bestimmen. Die Norm ISO 9612 beschreibt drei Mess-Strategien. Bild 60 illustriert verschiedene Vorgehensweisen.

Bei wechselnden Lärmbelastungen gilt es, Zeitabschnitte oder Arbeitsphasen mit typischen, gleichblei-

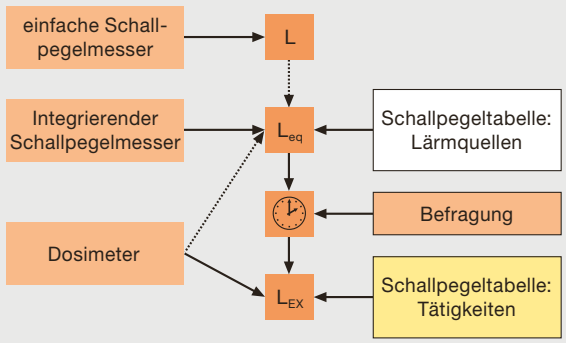
[1] ISO 1999, Ausgabe 2013-10: Acoustics – Estimation of noise-induced hearing loss

[2] SN EN ISO 9612, Akustik – Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz

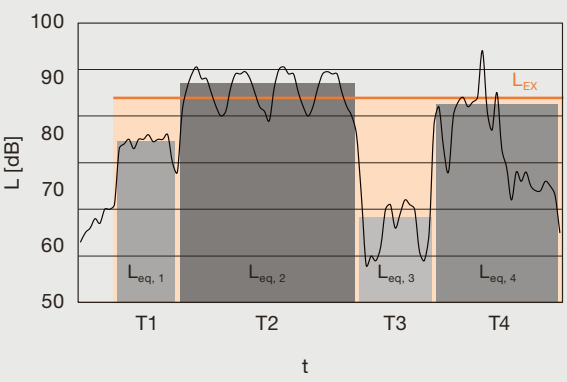
benden Lärmbelastungen voneinander getrennt zu betrachten und die entsprechenden Dauerschallpegel L_{eq} zu bestimmen. Bei einer solchen **tätigkeitsbezogenen Messung** muss zusätzlich erfasst werden, wie lange jede dieser Arbeitsphasen dauert bzw. welchen Anteil an der gesamten Arbeitszeit sie einnimmt (Expositionszeit bezüglich einer bestimmten Lärmbelastung). Aus diesen Angaben kann nach Formel 16 die Lärmbelastung für die jeweilige Normalarbeitszeit berechnet werden. Bild 61 zeigt die grundlegende Idee für solche Berechnungen.

Bei der Bestimmung der Arbeitsphasen ist besonders zu berücksichtigen, dass der Schallpegel von verschiedenen Parametern (Grösse der Werkstücke, zu verarbeitende Materialien oder Verarbeitungsgeschwindigkeit) abhängen kann. In solchen Fällen müssen unter Umständen Messungen einer Tätigkeit in verschiedenen Betriebszuständen vorgenommen werden. Diese Resultate sind dann wiederum anteilsmässig in die Berechnungen einzubeziehen.

Der L_{EX} bezieht sich immer auf eine Normalarbeitszeit T_0 von 8 Stunden pro Tag, 40 Stunden pro Woche oder 2000 Stunden pro Jahr. Ist die effektive Arbeitszeit T_e einer Person wesentlich grösser als die Normalarbeitszeit T_0, ist der Lärmexpositionspegel entsprechend Formel 18 zu korrigieren (siehe ISO 9612).



60 Möglichkeiten zur Bestimmung des Lärmexpositionspegels L_{EX} bei wechselnder Lärmbelastung und zusammengesetzten Tätigkeiten



61 Wechselnde Schallbelastungen und Lärmexpositionspegel L_{EX}

$$L_{EX} = 10 \cdot \lg \sum_i \frac{T_i}{T_0} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{eq,i}} \; [dB(A)]$$

$L_{eq,i}$: Äquivalenter Dauerschallpegel für die Arbeitsphase i in dB(A)
T_i: Dauer der Arbeitsphase i in Stunden
T_0: Normalarbeitszeit (8 h, 40 h oder 2000 h)

Formel 16

$$L_{EX} = 10 \cdot \lg \sum_i \frac{p_i}{100} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{eq,i}} \; [dB(A)]$$

p_i: Dauer der Arbeitsphase in Prozenten der Arbeitszeit

Formel 17

$$L_{EX} = L_{eq,T_e} + 10 \cdot \lg \frac{T_e}{T_0} \; [dB(A)]$$

T_e: Effektive Arbeitszeit
T_0: Normalarbeitszeit (8 h, 40 h oder 2000 h)

Formel 18

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung des L_{EX} besteht darin, eine **Ganztagsmessung** zu machen. Der äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} dieser Langzeitmessung entspricht direkt dem Jahresexpositionspegel L_{EX} für die betreffende Tätigkeit, wenn die Lärmexposition während der Messdauer als repräsentativ für ein Arbeitsjahr gelten kann.

In der Norm ISO 9612 wird als dritte Mess-Strategie eine **«berufsbildbezogene Messung»** beschrieben, die aber sehr aufwendig ist und hier nicht erklärt wird.

6.1.3 Tagesexpositionspegel und Jahresexpositionspegel

Wie unter Ziffer 4.7 dargestellt, verwendet die Suva zwei unterschiedliche Lärmexpositionspegel zur Risikobeurteilung. Sie unterscheiden sich grundsätzlich darin, dass beim Tagesexpositionspegel die Lärmbelastung eines einzelnen Tages mit starker Lärmbelastung beurteilt wird, während für den Jahresexpositionspegel die Lärmbelastung eines ganzen Jahres erfasst wird. Für die Beurteilung der Frage, ob eine Lärmbelastung das Gehör gefährden kann, ist mit Ausnahme von sehr lauten Impulsereignissen immer die Jahresexposition massgeblich. Es ist aber auch bei kurzzeitigen Lärmbelastungen zu empfehlen, einen Gehörschutz zu tragen (siehe Ziffer 8).

6.1.4 Praktische Hilfsmittel zur Bestimmung des Lärmexpositionspegels L_{EX}

Erfahrungsgemäss ist es relativ schwierig, die jährliche Dauer der verschiedenen Lärmbelastungen abzuschätzen; eine Abschätzung der wöchentlichen Expositionszeiten ist in der Regel einfacher und zuverlässiger. Lärmbelastungen, die nur saisonal auftreten (z. B. Einsatz eines Laubbläsers im Herbst, Erntemaschinen o. ä.), sind dabei anteilsmässig zu berücksichtigen.

Zur einfachen Berechnung des Lärmexpositionspegels stellt die Suva Hilfsmittel zur Verfügung, beispielsweise Vorlagen für Tabellenkalkulationen, die die Berechnung nach Eingabe der gemessenen Dauerschallpegel L_{eq} und der Expositionszeiten automatisch durchführen. Die Vorlagen stehen unter www.suva.ch/laerm zur Verfügung.

Eine weitere Möglichkeit zur Berechnung des Lärmexpositionspegels ist die Punktemethode, die hier kurz dargestellt werden soll. Ein Merkblatt dazu steht unter www.suva.ch/86173.d zur Verfügung.

Das zentrale Element der Punktemethode ist die Punktetabelle (Tabelle 19), die jedem Schallpegel L (sei es nun ein L_{eq} oder ein L_{EX}) eine Anzahl Lärmpunkte pro Stunde zuordnet (siehe auch Formel 19). Da es sich bei den Lärmpunkten (im Gegensatz zu den Schallpegeln) um eine lineare Grösse handelt, können diese Lärmpunkte wie gewohnt addiert und multipliziert werden.

$$Pt. = 10^{0,1 \cdot (L_{eq} - 80)}$$

Formel 19

So kann für jede Arbeitsphase aufgrund des L_{eq} die Anzahl Lärmpunkte pro Stunde bestimmt werden. Multipliziert mit der wöchentlichen Expositionszeit in Stunden ergibt sich daraus die Anzahl Lärmpunkte, die wöchentlich von der jeweiligen Tätigkeit verursacht werden.

Das Total der Lärmpunkte für alle Arbeiten kann als Mass für die Lärmbelastung während einer Arbeitswoche betrachtet werden. Dieses Total ist durch die Wochenarbeitszeit in Stunden, also durch 40 zu teilen, wodurch sich die Anzahl Lärmpunkte pro Stunde als Durchschnitt einer Arbeitswoche ergibt. Wird dieser Durchschnittswert der Lärmpunkte nun mit Hilfe der Punktetabelle (Tabelle 19) wieder in einen Schallpegel umgerechnet, so entspricht das Resultat dem Lärmexpositionspegel L_{EX} für die zu beurteilende Tätigkeit. Um einen Tagesexpositionspegel zu bestimmen, ist grundsätzlich gleich vorzugehen, wobei die Beurteilung für einen oder mehrere typische lärmige Arbeitstage vorgenommen wird.

6.1.5 Rechenbeispiele

Beispiel 1: Unterhaltsmechaniker

Für einen Unterhaltsmechaniker in einem Produktionsbetrieb der Nahrungsmittelindustrie wurden folgende

L	Pkt.
<80	0
80	1
81	1.3
82	1.6
83	2
84	2.5
85	3
86	4
87	5
88	6
89	8
90	10
91	13
92	16
93	20
94	25
95	32
96	40
97	50
98	63
99	80
100	100
101	125
102	160
103	200
104	250
105	315
106	400
107	500
108	630
109	800
110	1000

Tabelle 19 Punktemethode: Schallpegel und zugeordnete Anzahl Lärmpunkte

Dauerschallpegel L_{eq} und wöchentliche Expositionszeiten erhoben (Tabelle 20):

Die Berechnung nach Formel 16 ergibt das gleiche Resultat (siehe Formel 20).

Durchschnittliche Anzahl Lärmpunkte pro Stunde:
157 Pt./Wo : 40 h/Wo = 4 Pt./h
Daraus den L_{EX} nach Tabelle 19 bestimmen:
4 Pt./h → L_{EX} = 86 dB(A)

Ein Vergleich mit den Grenzwerten unter Ziffer 4.7 zeigt, dass der Unterhaltsmechaniker in diesem Betrieb einer Lärmbelastung über dem Grenzwert ausgesetzt ist und der Arbeitgeber die Massnahmen M2 (siehe Ziffer 4.7.3) zu treffen hat.

Beispiel 2: Schulhausabwart

Ein Schulhausabwart gibt folgende Lärmbelastungen an (Tabelle 21): Staubsaugen wöchentlich 6 Stunden, Rasenmähen einmal wöchentlich 4 Stunden im Sommerhalbjahr, einfache Reparaturen 2 Stunden pro Monat,

Ort, Maschinen, Tätigkeit	L_{eq} dB(A)	Pt./h [A]	h/Wo [B]	Pt./Wo [A·B]
Winkelschleifmaschine	95	32	2	64
Trennschleifmaschine	100	100	0,1	10
Schweissarbeiten	86	4	2	8
Montage	80	1	15	15
Mechanische Bearbeitung	83	2	10	20
Grundpegel Produktion	86	4	10	40
Gesamtpunktzahl				157

Tabelle 20 Angaben zur Lärmbelastung eines Unterhaltsmechanikers

$$L_{EX} = 10 \cdot \lg\left(\frac{2}{40} \cdot 10^{0,1 \cdot 95} + \frac{0,1}{40} \cdot 10^{0,1 \cdot 100} + \frac{2}{40} \cdot 10^{0,1 \cdot 86} + \frac{15}{40} \cdot 10^{0,1 \cdot 80} + \frac{10}{40} \cdot 10^{0,1 \cdot 83} + \frac{10}{40} \cdot 10^{0,1 \cdot 86}\right) = 86 \text{ dB(A)}$$

Formel 20

Platzreinigung mit Laubbläser im Herbst an 6 Tagen während je 3 Stunden. 2 Stunden pro Monat entsprechen einer wöchentlichen Exposition von 0,5 Stunden; 6 x 3 = 18 Stunden pro Jahr entsprechen einer wöchentlichen Exposition von 18 h/a : 50 Wo/a = 0,36 h/Wo.

Durchschnittliche Anzahl Lärmpunkte pro Stunde:
36 Pt./Wo : 40 h/Wo = 0,9 Pt./h
Daraus den L_{EX} nach Tabelle 19 bestimmen:
4 Pt./h → L_{EX} = 80 dB(A)

Der Jahresexpositionspegel des Schulhausabwarts liegt unter dem Grenzwert, und er hat kein Anrecht auf die Gehöruntersuchung im Audiomobil der Suva. Die Massnahmen M2 müssen nicht getroffen werden. Fraglich ist, ob die Massnahmen M1 zu treffen sind und der Schulhausabwart während der Platzreinigung mit dem Laubbläser oder beim Rasenmähen einen Gehörschutz tragen soll. Hierzu wird der Tagesexpositionspegel $L_{EX,8h}$ für einen Arbeitstag mit Rasenmähen bestimmt (Tabelle 22).

Durchschnittliche Anzahl Lärmpunkte pro Stunde:
40 Pt./Tag : 8 h/Tag = 5 Pt./h
Daraus den L_{EX} nach Tabelle 19 bestimmen:
5 Pt./h → $L_{EX,8h}$ = 87 dB(A)

Der Tagesexpositionspegel $L_{EX,8h}$ überschreitet den Grenzwert von 85 dB(A), weshalb der Arbeitgeber zur Umsetzung der Massnahmen M1 verpflichtet ist und der Schulhausabwart bei der Platzreinigung mit dem Laubbläser einen Gehörschutz tragen soll. Das Gleiche gilt für die Laubräumarbeiten im Herbst, für die sich ein Wert von $L_{EX,8h}$ = 90 dB(A) ergibt.

62 Ist bei der Arbeit mit einem Laubbläser ein Gehörschutz zu tragen?

Ort, Maschinen, Tätigkeit	L_{eq} dB(A)	Pt./h [A]	h/Wo [B]	Pt./Wo [A B]
Staubsaugen	80	1	6	6
Rasenmähen	90	10	2	20
Reparaturen	83	2	0,5	1
Laubbläser	94	25	0,36	9
Gesamtpunktzahl				36,0

Tabelle 21 Lärmbelastung eines Schulhausabwarts

Ort, Maschinen, Tätigkeit	L_{eq} dB(A)	Pt./h [A]	h/Tag [B]	Pt./Tag [A B]
Rasenmähen	90	10	4	40
Gesamtpunktzahl für diesen Arbeitstag				40

Tabelle 22 Berechnung des Tagesexpositionspegels $L_{EX,8h}$ aufgrund des Rasenmähens.

6.2 Beurteilung der Gehörbelastung durch Impulslärm

6.2.1 Grundlagen

Wie unter Ziffer 3.5 erwähnt, können heftige Knallereignisse das Gehör unmittelbar gefährden. Deshalb sind Knalle, Explosionen usw., deren Spitzenpegel 135 dB(C) überschreitet, anhand des Schallexpositionspegels L_E speziell zu beurteilen.

Welche Massnahmen je nach Ergebnis zu treffen sind, geht aus Ziffer 4.7.2 hervor. Tritt im selben Zeitraum neben Impulslärm auch gehörgefährdender Dauerlärm auf, so ist von einer erhöhten Anfälligkeit des Gehörs auszugehen, und es sollte für Knallereignisse beim L_E eine zusätzliche Sicherheitsmarge von 10 dB einberechnet werden.

6.2.2 Ermittlung der Beurteilungsgrössen

Die Messung des Schalldruckspitzenpegels L_{Peak} kann bis zu 140 dB(C) mit üblichen Schallpegelmessern und Messmikrofonen erfolgen. Für höhere Spitzenpegel sind spezielle Messmikrofone (mit geringerer Empfindlichkeit) einzusetzen, die aber nicht mit allen Schallpegelmessern verwendet werden können (siehe Ziffer 5.2).

Die Ermittlung des Schallexpositionspegels L_E erfolgt entweder durch direkte Messung – auch mehrerer Ereignisse hintereinander – oder durch die Messung eines einzelnen Ereignisses $L_{E,1}$ und die rechnerische Berücksichtigung der Anzahl gleicher Ereignisse mit Formel 11 (siehe Ziffer 2.8.2).

Mehrere Ereignisse in einer durchgehenden L_E-Messung zu summieren, ist aber nur bei relativ tiefem Grundgeräusch zulässig. Wenn der während der Messung angezeigte L_E zwischen den Ereignissen weiter ansteigt, deutet dies auf einen unzulässigen Einfluss des Grundgeräusches hin. Nötigenfalls ist das Messgerät zwischen den Ereignissen auf Pause zu setzen.

6.2.3 Anwendung der Beurteilungskriterien

In Tabelle 23 sind beispielhaft Impulsereignisse mit den entsprechenden Messwerten und Konsequenzen aufgelistet.

Schallquelle, Schallereignis		L_{peak} dB(C)	L_E dB(A)	Technische Massnahmen	Gehörkontrollen im Audiomobil
Bolzensetzgerät mit integriertem Schalldämpfer		132	100	–	–
Polizeipistole	**1 Schuss**	160	117	M1	–
Polizeipistole (Schiessübung)	**20 Schuss**	160	130	M2	Verpflichtung
Sturmgewehr 90	**1 Schuss**	162	122	M2	Berechtigung
Sturmgewehr 57	**1 Schuss**	168	129	M2	Verpflichtung
Sturmgewehr 57 (Schiessübung)	**40 Schuss**	168	145	M2	Verpflichtung

Tabelle 23 Beurteilung von Impulsereignissen

6.3 Beurteilung von Arbeitsplätzen

Für die Risikobeurteilung bezüglich Lärmschwerhörigkeit bestehen mehrere Möglichkeiten. Die Suva stellt den Betrieben **verschiedene Hilfsmittel** zur Verfügung und bietet Unterstützung und Beratung an:

- Beurteilung aufgrund der Schallpegeltabellen der Suva
- Messung durch den Betrieb mit eigenem Schallpegelmesser oder mit einem Leihgerät der Suva
- Messung durch die Suva, Bereich Physik

Die erste Variante eignet sich vor allem für kleinere und mittlere Betriebe, für deren Branche eine Schallpegeltabelle der Suva besteht. In vielen Fällen kann aufgrund der Schallpegeltabelle eine abschliessende Risikobeurteilung bezüglich Gehörgefährdung durch Lärm am Arbeitsplatz vorgenommen werden.

Für grössere Betriebe oder für Betriebe mit speziellen Arbeitsplätzen und Tätigkeiten sind die Varianten 2 und 3 besser geeignet.

Wenden Sie sich an den Bereich Physik (Telefon: 041 419 61 34, Mail: akustik@suva.ch), wenn Sie einen Schallpegelmesser ausleihen möchten oder Messungen durch die Suva wünschen.

6.3.1 Risikobeurteilung mit Schallpegeltabellen der Suva

Es hat sich gezeigt, dass in vielen Branchen bei gewissen Tätigkeiten typische Lärmexpositionspegel auftreten. Deshalb ist es möglich, die Daten aus vielen Einzelmessungen in Form von branchenspezifischen Schallpegeltabellen zusammenzufassen. Darin sind die Lärmexpositionspegel für die typischen Tätigkeiten und Arbeitsplätze einer Branche zusammengefasst und bezüglich der zu treffenden Massnahmen beurteilt. So können Betriebe die Lärmverhältnisse an den Arbeitsplätzen selber beurteilen, das Risiko von Gehörschäden für die Mitarbeitenden beurteilen und entsprechende Massnahmen treffen. Wie unter Ziffer 6.1.2 gezeigt, ist es auch möglich, anhand der äquivalenten Dauerschallpegel L_{eq} (siehe Ziffer 6.5.2) und eigener Erhebungen der jeweiligen Expositionszeiten Lärmexpositionspegel L_{EX} für spezielle Tätigkeiten oder Situationen zu berechnen.

Das Gesamtverzeichnis der Schallpegeltabellen der Suva finden Sie unter www.suva.ch/86005.d.

Wenn bei der Lärmbeurteilung anhand einer Schallpegeltabelle Fragen auftauchen oder wenn die individuellen Verhältnisse im Betrieb in der Schallpegeltabelle ungenügend berücksichtigt sind, können die Lärmfachleute des Bereichs Physik der Suva beigezogen werden.

6.3.2 Messungen durch den Betrieb

Dank grosser Fortschritte in der Schallmesstechnik ist es heute verhältnismässig einfach, Schallpegel zu messen. Die Hürde für Messungen durch den Betrieb ist nicht zuletzt auch dank der einfachen Bedienung moderner Geräte deutlich gesunken. So kann es für mittlere und grosse Unternehmen interessant sein, selber Lärmmessungen durchzuführen, um die individuellen Bedingungen vor Ort zu erfassen oder die Wirksamkeit getroffener Lärmschutzmassnahmen direkt nachzuprüfen.

Die Suva bietet den Betrieben dafür ihre Unterstützung an: Für gelegentliche Messungen und eine Standortbestimmung können bei der Suva einfache integrierende Schallpegelmesser ausgeliehen werden. Ferner führt die Suva eine Reihe von Fachkursen zu den Themen Lärmbekämpfung und Lärmmessungen durch. Beachten Sie unsere aktuellen Kursausschreibungen im Internet unter www.suva.ch/kurse.

Detaillierte Angaben zur Schallmesstechnik und zum Vorgehen bei Lärmmessungen siehe Ziffer 5.

6.3.3 Messungen durch die Suva in einzelnen Betrieben

Die Suva führt Messungen in einzelnen Betrieben durch, wenn sich daraus neue Erkenntnisse für weitere Betriebe der Branche gewinnen lassen, zur Ergänzung der Daten in der Lärmquellen-Datenbank der Suva, zur Abklärung der Lärmbelastung an spezifischen Arbeitsplätzen oder wenn besondere Bedingungen im Betrieb spezielle Messverfahren erfordern (Messung von Impulsereignissen wie Schüsse, Knalle; Langzeitmessungen; Ultraschall). Solche Betriebsbesuche werden aber vor allem auch dazu genutzt, die Umsetzung der Lärmschutzmassnahmen im Betrieb zu überprüfen (Sicherheitssystem).

Jährlich führen die Fachleute des Bereichs Physik der Suva in 300 bis 500 Betrieben Lärmmessungen durch. Nach den Messungen erhält der Betrieb ein detailliertes Schallmessprotokoll, worin sämtliche Messdaten wiedergegeben sind und festgestellt wird, welche Massnahmen für die verschiedenen Tätigkeiten und Arbeitsplätze im Betrieb zu treffen sind. Die erhobenen Daten über die Schallpegel an verschiedenen Maschinen und Arbeitsplätzen werden ausserdem in der Lärmquellen-Datenbank der Suva abgelegt. Anhand dieser Daten werden die Schallpegeltabellen jährlich überprüft und wo nötig aktualisiert. Dadurch ist gewährleistet, dass Veränderungen von Produktionsverfahren oder technische Entwicklungen bei Maschinen und damit einhergehende Änderungen der Lärmbelastung in den Schallpegeltabellen berücksichtigt werden.

6.4 Schallmessprotokoll zu Messungen in einem Betrieb

Das Schallmessprotokoll (Bild 63) enthält sämtliche Messdaten, eine Risikobeurteilung der Gehörgefährdung durch Lärm bei den verschiedenen Tätigkeiten sowie Angaben, welche Massnahmen zu treffen sind. Auch werden wichtige Daten festgehalten für eine spätere Untersuchung des lärmexponierten Personals im Audiomobil der Suva. Die Tabelle (Bild 63) mit den Messergebnissen besteht aus einer zusammenfassenden **tätigkeitsbezogenen Beurteilung** und aus den **detaillierten**, vor Ort erhobenen **Messresultaten**.

Neben einer Beschreibung des Messortes (Abteilung, Maschine, Tätigkeit) wird von jeder Messung der maximale Schallpegel L_{max} mit Zeitbewertung «Fast», die Differenz von C-bewertetem und A-bewertetem Schallpegel $L_C - L_A$ [1] und der äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} aufgeführt. Falls die exponierten Personen nicht dauernd diesem Lärm ausgesetzt sind, wird die zeitliche Exposition (Exp.) erfragt und in Prozenten angegeben. Aus diesen Angaben wird der Lärmexpositionspegel L_{EX} berechnet.

Bei der tätigkeitsbezogenen Beurteilung werden entweder Grundlärmpegel (GP) eines Raumes oder einer Abteilung oder Lärmexpositionspegel für verschiedene Tätigkeiten angegeben. Unter dem Grundlärmpegel wird der allgemeine Lärmpegel eines Raumes oder eines Arbeitsbereichs verstanden, der ausserhalb des Nahbereichs einzelner Maschinen herrscht (technisch gesprochen: ausserhalb des direkten Schallfelds von Maschinen, also im diffusen Schallfeld). Diese Angabe kann verwendet werden, um die Lärmbelastung von Personen zu ermitteln, die sich nur zeitweise im Risikobereich aufhalten (Wartungs- und Kontrollpersonal, Vorarbeiter, Meister, Transportdienst) und dabei nicht direkt spezifischen Lärmquellen ausgesetzt sind.

Die angegebenen Lärmexpositionspegel **L_{EX}** stellen die wichtigsten Resultate der Lärmmessung dar. Aus diesen Werten wird direkt abgeleitet, welche Massnahmen für den jeweiligen Arbeitsplatz bzw. die Mitarbeitenden getroffen werden müssen (Spalte **M**). Die Spalte **Aud** gibt Auskunft, ob Mitarbeitende, die die beschriebene Tätigkeit ausführen, zur Gehöruntersuchung im Audiomobil der Suva berechtigt oder verpflichtet sind (vgl. Tabelle 24 auf Seite 60).

Bei den Angaben in den zwei letzten Spalten handelt es sich um eine Codierung der Arbeitsplätze und des Berufes für Suva-internen Gebrauch.

[1] dient zur Beurteilung, ob Gehörschutzmittel mit besonders guter Dämmung im Tieftonbereich nötig sind

Tätigkeitsbezogene Beurteilung

Berufe, Funktionen	Nr.	GP L_{eq}	L_{EX}	M	Aud	N	Code Suva	
		dB(A)	dB(A)				LQC	BC
Druckerei								
Formulardrucker	5.1		**89**	**2**	**A**	10	4918.09	27201120
Personal Weiterverarbeitung	5.2		**85**	**2**	**(A)**	12	4918.09	99990023
Blockfabrikation	5.3	81					4740.19	
Personal Liniermaschinen	5.4		**87**	**2**	**(A)**	7	4741.09	99990023
Personal Blockmaschinen	5.5		**85**	**2**	**(A)**	3	4742.09	99990023
Unterhalt								
Mechaniker	5.6		**83**	**1**	**–**	1	9034.68	25401015
Elektriker	5.7		**80**	**–**	**–**	1	9034.08	23210027

Messungen

Abteilung, Maschinen, Tätigkeiten	Bemerkungen	L_{max}	L_C - L_A	L_{eq}	Exp.	L_{EX}
		dB(A)	dB	**dB(A)**	**%**	**dB(A)**
Druckerei EG						
Formulardruckmaschine 334						
Processing		90	2	**88**	**25**	
Druckwerke		91	1	**89**	**75**	**89**
Formulardruckmaschine 333						
Kontrollpult		89	2	**89**	**90**	
Druckwerke		92	3	**87**	**20**	**89**
Weiterverarbeitung						
Maschine 422 HPF						
Auslage		88	0	**85**	**90**	
Grundpegel im Raum	GP	83	3	**81**	**10**	**85**
Blockfabrikation						
Liniermaschine 328 Bravo		92	1	**87**	**100**	**87**
Blockmaschine 520 Bufalo						
Einlegen		94	2	**86**	**75**	
Auslage		89	4	**81**	**25**	**85**
Unterhalt						
Mechaniker						**83**
Grundpegel Produktion				**85**	**30**	
Mechanikerarbeiten				**80**	**60**	
Abblasen mit Druckluft		97	-1	**91**	**1**	
Heiz-Zentrale	GP	94	8	**88**	**5**	
Unterhalt Druckluft-Kompressoren		95	12	**93**	**1**	

63 **Messprotokoll einer Lärmmessung in einem Betrieb; tätigkeitsbezogene Beurteilung der Lärmexposition L_{EX} und Schallpegel an verschiedenen Arbeitsplätzen**

6.5 Schallpegeltabellen der Suva

Im Vergleich zu einem Schallmessprotokoll beschränken sich die Schallpegeltabellen auf die Wiedergabe der tätigkeitsbezogenen Lärmbeurteilung und verzichten auf detaillierte Angaben zum Beitrag einzelner Schallquellen zur Schallbelastung einer Tätigkeit. Auch die Schallpegeltabellen sind zweiteilig aufgebaut, wobei im ersten Teil Lärmexpositionspegel L_{EX} für verschiedene Berufe und Funktionen (Bild 64) und im zweiten Teil äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} für die branchentypischen Arbeitsplätze und Maschinen aufgelistet sind (Bild 65).

6.5.1 Tätigkeitsbezogene Lärmexpositionspegel

Neben der Beschreibung des Arbeitsplatzes in Deutsch, Französisch und Italienisch werden Angaben über die Lärmexpositionspegel **L_{EX}** am betreffenden Arbeitsplatz und über notwendige Massnahmen **M** gemacht (siehe Ziffer 4.7.3). In der Spalte **Aud** wird festgehalten, ob Personen, die diese Tätigkeit überwiegend oder ausschliesslich ausüben, zur Gehöruntersuchung im Audiomobil berechtigt bzw. verpflichtet sind (Tabelle 24).

A	Pflicht zur Gehöruntersuchung
(A)	Berechtigung zur Gehöruntersuchung
–	kein Anrecht auf Gehöruntersuchung

Tabelle 24 Bedeutung der Abkürzungen in der Spalte Aud

Die angegebenen Lärmexpositionspegel L_{EX} stützen sich auf die Messresultate der Suva aus einer Vielzahl von Betrieben und fassen die typischen Lärmbelastungen und entsprechende Expositionszeiten in einem Jahresexpositionspegel L_{EX} zusammen. Die Werte werden zur besseren Übersichtlichkeit in vorgegebenen Klassen gerundet (<80, 80, 83, 86 dB(A); ab 90 dB(A) weiter in Schritten zu 5 dB(A)). Selbstverständlich gibt es immer einzelne Betriebe, in denen die effektive Lärmbelastung für eine Tätigkeit erheblich von den Werten der Schallpegeltabellen abweicht. Ein kritischer Vergleich mehrerer Lärmpegel mit der Situation im eigenen Betrieb ist deshalb auf jeden Fall sinnvoll.

6.5.2 Äquivalente Dauerschallpegel L_{eq}

Im zweiten Teil der Schallpegeltabellen (Bild 65) sind äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} für verschiedene Lärmquellen und typische Arbeitsbereiche aufgelistet, wobei es sich entweder um Grundpegel im Raum (**GP**) ausserhalb des direkten Schallfelds von Maschinen handelt (siehe Ziffer 6.4) oder um Arbeitsplatzpegel (**AP**) im Bereich von Maschinen und anderen Lärmquellen.

Berufliche Funktion	L_{EX}	M	Aud
Zuschneiderei			
Zuschneider (Stahl)	83	–	–
Zuschneider (Aluminium)	95	2	A
Ausbrenner	86	2	(A)
Schmiede			
Schmied	95	2	A
Abkanterei			
Abkanter	83	–	–
Stanzerei			
Einrichter	86	2	(A)
Stanzer (Exzenterpressen)	90	2	A
Stanzer (hydraulische Pressen)	86	2	(A)
Mechanische Bearbeitung			
Maschinenmechaniker	80	–	–
Schlosserei			
Schlosser	95	2	A
Schweisserei			
Punktschweisser	83	1	–
Schweisser an Schweissroboter	80	–	–
Schweisser, ohne Handwerkzeuge	86	2	(A)
Schweisser, mit Handwerkzeugen	95	2	A

64 Ausschnitt aus der Schallpegeltabelle 86238 für den Metall-, Stahl- und Grossapparatebau; tätigkeitsbezogene Lärmexpositionspegel L_{EX}

Äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} können verwendet werden, um Risikobeurteilungen für Tätigkeiten durchzuführen, für die im ersten Teil der Schallpegeltabellen kein Lärmexpositionspegel L_{EX} aufgeführt ist beziehungsweise um solche Werte mit der konkreten Situation im eigenen Betrieb zu vergleichen. Unter Ziffer 6.1 wird dargelegt, wie solche Berechnungen durchzuführen sind.

Lärmquellen, Zonen und Tätigkeiten	L_{eq}dB(A) GP	L_{eq}dB(A) AP
Materiallager	**75**	
Zuschneiderei	**83**	
Metallkreissägen für Stahl		83
Metallkreissägen für Leichtmetall		95
Bügelsägen		80
Trennschleifmaschinen		100
Tafelscheren bis 3 mm		83
Tafelscheren 3 - 8 mm		86
Tafelscheren > 8 mm		90
Brennschneidanlagen		90
Schmiede	**90**	
Schmieden von Hand		95
Schmiedehämmer		100
Hydraulische Pressen		83
Schmiedepressen		95
Abkanterei, Stanzerei	**86**	
Abkantpressen		83
Exzenterpressen, Pressen		90
Mechanische Bearbeitung	**80**	
Dreh-, Fräs-, Bohr-, Hobelmaschinen		80
Grossstücke schruppen		90

65 Ausschnitt aus der Schallpegeltabelle 86238 für den Metall-, Stahl- und Grossapparatebau; äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} für verschiedene Maschinen, Tätigkeiten und Arbeitsbereiche

7 Technische Lärmschutzmassnahmen

7.1 Rechtliche Grundlagen

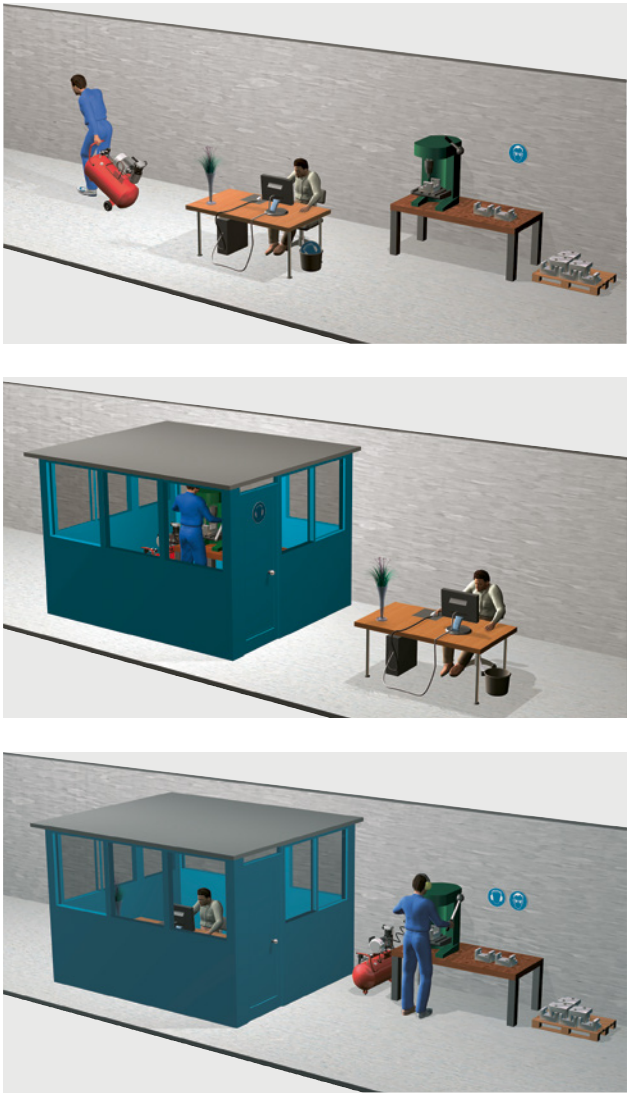
Unter Ziffer 4.2 werden die rechtlichen Grundlagen der technischen Lärmbekämpfung ausführlich erklärt. Dabei spielt insbesondere Artikel 34 VUV (Lärm und Vibrationen) eine wichtige Rolle. Mit der EKAS-Richtlinie Nr. 6508 über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit wurde ein Instrument geschaffen, das die Umsetzung der Forderungen der VUV wirkungsvoll ermöglicht. Den Bemühungen zur Förderung der Arbeitssicherheit soll verstärkt Nachachtung verschafft und der Stellenwert der Lärmbekämpfung erhöht werden. Die Verhältnismässigkeit von Massnahmen im Sinne des UVG (Artikel 82 Absatz 1) muss dabei gewahrt bleiben.

7.2 Grundsätze der Lärmbekämpfung

An Arbeitsplätzen wird der Lärm vorwiegend durch Maschinen und Anlagen verursacht. Als wirkungsvollstes Mittel zur Lärmminderung stehen deshalb technische Massnahmen an der Quelle im Vordergrund. Allerdings muss sorgfältig geprüft werden, welche Möglichkeiten bestehen, um den Lärm zu reduzieren, ohne beispielsweise die Leistungsfähigkeit der Maschine zu verringern oder zusätzliche Gefahren zu schaffen.

Es ist allgemein üblich und zu empfehlen, dass die Betriebe zur Lösung von Problemen Fachleute beiziehen. Obwohl einfache Lärmbekämpfungsmassnahmen auch von interessierten Berufsleuten realisiert werden können, setzt die technische Lärmbekämpfung in der Regel gründliches Fachwissen und Erfahrung voraus. Zu den planerischen Massnahmen zählt auch der Beizug von Fachleuten.

Leider wird immer noch allzu häufig viel Geld in Lärmbekämpfungsmassnahmen investiert, die keine oder nur eine bescheidene Wirkung haben. Darum sollte der Lärm nicht planlos, sondern zielgerichtet und systematisch bekämpft werden. Dabei können wie bei andern Planungsarbeiten die bewährten Problemlösungsverfahren angewendet werden. Eine zusätzliche Hilfe stellt die Suva-Checkliste «Lärm am Arbeitsplatz» dar (www.suva.ch/67009.d).



66 Die drei grundlegenden Möglichkeiten der Lärmbekämpfung: Lärmbekämpfung an der Quelle, Abschirmung oder persönliche Schutzmassnahmen

7.3 Die Strukturierung der Lärmbekämpfungsmassnahmen

Grundsätzlich gibt es drei Möglichkeiten, der Gefährdung durch Lärm zu begegnen: Man kann das gefährliche Objekt beseitigen, die Gefahrenquelle abschirmen oder die gefährdeten Personen schützen, wie Bild 66 zeigt.

Muss ein komplexes Lärmproblem gelöst werden, empfiehlt es sich, die möglichen und realisierbaren Lärmbekämpfungsmassnahmen auf dem Schallausbreitungsweg zu analysieren. Nur so lassen sich optimale Lösungen finden. In Bild 67 sind die verschiedenen Bereiche der Lärmbekämpfung und die möglichen Massnahmen zusammengestellt.

Die Prioritäten 1 bis 3 in Bild 67 werden unter Ziffer 7.4 bis 7.6 mit Beispielen erklärt. Im Rahmen dieser Publikation wird das Thema Lärmbekämpfung nur zusammenfassend dargestellt. Detaillierte Informationen finden interessierte Leserinnen und Leser in der Broschüre «Lärmbekämpfung an Maschinen und Anlagen» (www.suva.ch/66076.d).

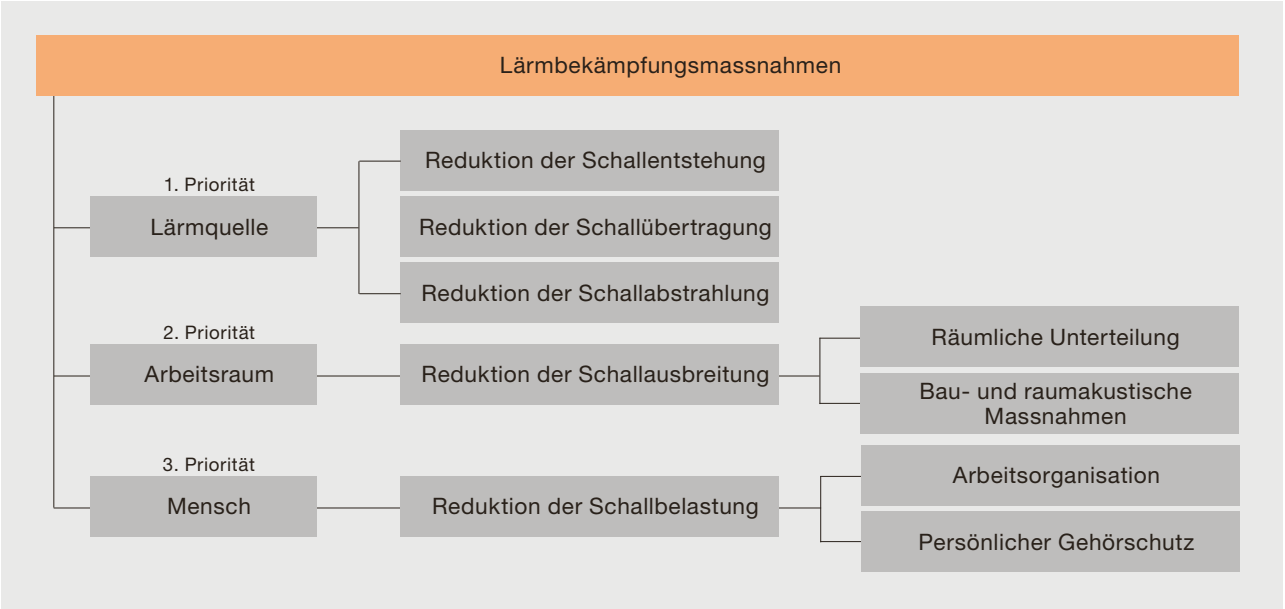
7.4 Lärmquelle: 1. Priorität

Die Schallschutzmassnahmen in dieser Gruppe werden den primären Massnahmen zugeordnet, weil der Lärm an der Entstehungsstelle reduziert wird. Diese Abgrenzung zeigt deutlich die Bedeutung, die diesen Massnahmen zukommt.

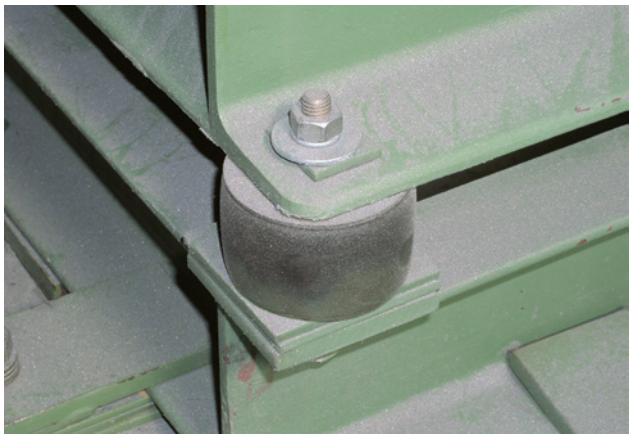
7.4.1 Reduktion der Schallentstehung

Die Schallentstehung kann durch lärmarme Maschinen und lärmarme Verfahren verringert werden.

Einkäufer, Verkäufer, Planungsingenieure, Konstrukteure, Produktionsleiter und Betriebsinhaber sind aufgrund der rechtlichen Grundlagen (siehe Ziffer 4) zur Lärmbekämpfung verpflichtet. Die Lärmbekämpfung erfordert also auch Koordination zwischen verschiedenen Beteiligten.



67 Systematik der Lärmbekämpfungsmassnahmen



68 Gummielement für die Lagerung eines Ventilators

69 Kunststoff-Kompensator bei der Abluftleitung einer Prozessanlage

Beim Kauf neuer Maschinen und Anlagen ist man gut beraten, dem Thema Lärm besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Manchmal sind zwar leisere Maschinen etwas teurer. Nachbesserungen an lauten Maschinen zur Reduktion des Lärms sind technisch oft gar nicht möglich oder sie kosten viel Geld. Es lohnt sich auch, die Mehrkosten von lärmarmen Maschinen mit allfälligen baulichen Zusatzinvestitionen für laute Maschinen zu vergleichen.

Weitere Stichworte für Möglichkeiten zur Reduktion der Schallentstehung:
- Schwingungstechnisches Optimieren von Konstruktionen, zum Beispiel von Lagern, Getrieben, Rahmen, Werkzeugen
- Vermeiden extremer Belastungen, wie sie zum Beispiel bei starken Schlägen, grossen Beschleunigungen und Verzögerungen entstehen oder durch Strömungswiderstände bei hohen Geschwindigkeiten verursacht werden (Optimieren des Kraft-Zeit-Verlaufs)
- Richtiges Dimensionieren (z. B. Versteifen) und Fertigen (z. B. Auswuchten, Glätten der Oberflächen)
- Wahl geeigneter Werkstoffe
- Kleine Strömungsgeschwindigkeiten
- Ersatz lärmintensiver durch lärmarme Verfahren (z. B. Einsatz von lärmarmen Sicherheitsblaspistolen)
- Regelmässige Wartung (z. B. zustandsabhängige statt periodische Wartung)

7.4.2 Reduktion der Schallübertragung

Die Reduktion der Schallübertragung hat zum Ziel, den erzeugten Körperschall nicht auf eine Struktur zu übertragen, die ihrerseits diesen Körperschall auf abstrahlfähige Flächen weiterleitet.

Allgemeine Beeinflussungsmöglichkeiten sind:
- Dämmen des Körperschalls, zum Beispiel durch Versteifen, Anbringen von Sandwichblechen
- Elastische Lagerung (Körperschall- und Schwingungsdämmung, Bild 68)
- Abkoppeln schallabstrahlender Elemente vom Erreger, zum Beispiel durch Anbringen elastischer Rohranschlüsse (Kompensatoren, Bild 69)
- Wahl von Materialien mit einer hohen inneren Dämpfung (z. B. Verbundwerkstoffe)
- Schalldämpfer für (aus)strömende Gase

70 Teilkapselung an einer Tubendruckmaschine (200 Tuben/min); in 1 m Abstand wird noch ein Schallpegel von 77 dB(A) gemessen.

71 Kapselung einer Mühle für Kunststoffabfälle. Erzielte Pegelsenkung: zirka 12 dB(A)

7.4.3 Reduktion der Schallabstrahlung

Ist die Übertragung von Körperschallanteilen auf abstrahlfähige Flächen nicht zu vermeiden, muss das Abstrahlverhalten der betroffenen Flächen beeinflusst werden.

Einflussmöglichkeiten zur Reduktion der Schallabstrahlung sind:

- Verkleinern des Abstrahlgrades, zum Beispiel durch Versteifen oder Beschichten von Oberflächen oder gelochte Flächen (akustischer Kurzschluss)
- In die Maschinen integrierte Teilkapselungen (Bild 70)

7.4.4 Kapselungen

Kapselungen werden aus akustischer Sicht den **Sekundärmassnahmen** zugeordnet. Bereits vorhandene, von Maschinen abgestrahlte Schallanteile werden an ihrer Ausbreitung gehindert. Bei vielen lauten Maschinen und Anlagen lässt sich der Lärm nur mit Hilfe einer Kapselung wirkungsvoll reduzieren (z. B. Stanzautomaten, Mühlen für Kunststoffabfälle, Blockheizkraftwerke usw.), wie Bild 71 bis 74 zeigen.

In der Broschüre «Lärmbekämpfung durch Kapselungen» (www.suva.ch/66026.d) sind detaillierte Informationen für die Planung und den Bau von Kapselungen zusammengestellt.

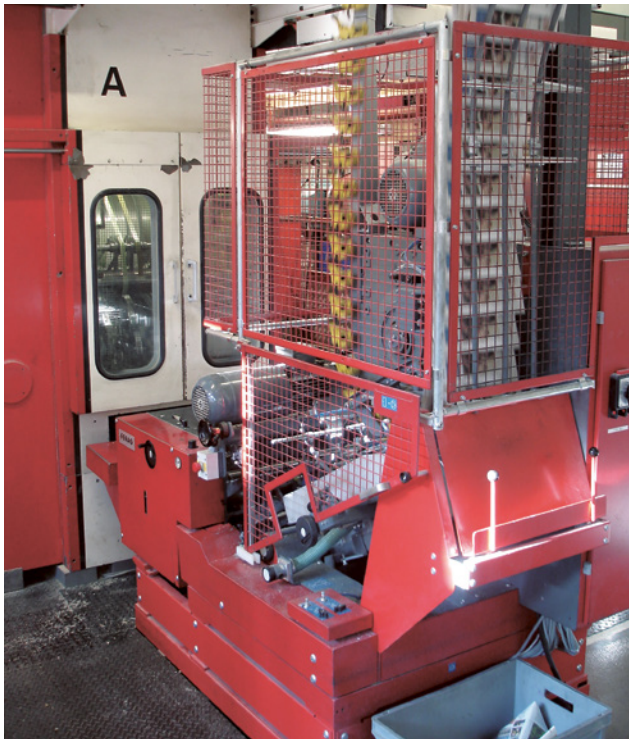
Es gibt natürlich auch Fälle, wo die zu kapselnde Anlage viel zu gross ist (z. B. Druckmaschinen, Walzstrassen, Papiermaschinen usw.). In solchen Fällen baut man für das Bedienungspersonal eine Kabine als Kapselung (Bild 75).

7.4.5 Transport und Materialumschlag

Die Lärmbekämpfungsmassnahmen im Bereich des Transports und des Materialumschlags lassen sich nicht in die Systematik nach Ziffer 7.4.1 bis 7.4.3 einordnen. Die Massnahmen zur Pegelsenkung beruhen je nachdem auf der Reduktion der Schallentstehung (z. B. Verringerung der Fallhöhe) oder der Reduktion der Schallabstrahlung (z. B. Einsatz von Lochblechen).

72 Kapselung eines Dosenschweissautomaten. Durch die Kapselung wird der Schallpegel auf der Aussenseite auf 82 dB(A) reduziert.

74 Gekapselte Flachschleifmaschine zur Herstellung von Bodenbelägen



73 Gekapselter Falzapparat (Hintergrund) und Auslage einer Zeitungsdruckmaschine. Der Schallpegel wird von 98 auf 84 dB(A) gesenkt.

75 Leitwarte einer Papiermaschine. Der Grundpegel beträgt 65 dB(A), während aussen Schallpegel von rund 90 dB(A) herrschen.

76 Transportband einer Kunststoffmühle

77 Kunststoffmühle in separatem Raum

Durch den innerbetrieblichen Transport werden normalerweise keine Schallpegel erzeugt, die die Grenze für den gehörgefährdenden Lärm überschreiten. Solche Lärmanteile können aber ausgesprochen störend sein, dies vor allem dann, wenn der Fabrikationslärm, zum Beispiel in einer Montageabteilung, relativ klein ist. Aus diesem Grunde wird der Transportlärm mit Erfolg durch den Einsatz moderner Geräte reduziert. Für einen lärmarmen Materialumschlag müssen zwei Grundsätze beachtet werden:

1. Fallhöhen bei Materialübergabestellen minimieren:
- Bei Automaten höhenverstellbare Rutschen einsetzen.
- Bei Abfüllanlagen für Kleinteile allenfalls mehrstufige Fallstrecken planen.

2. Aufschlagflächen dämpfen:
- Direktes Aufschlagen von Transportteilen auf Blech verhindern durch den Einbau einer Gummiauflage (allenfalls als Verschleissgummischicht).
- Körperschall-Fortleitung verringern durch Erhöhen der Materialdämpfung (z. B. Rampenbleche, Verbundblech).
- Abstrahlung vermindern durch den Einsatz von Lochblechen.

7.5 Arbeitsraum: 2. Priorität

7.5.1 Räumliche Unterteilung

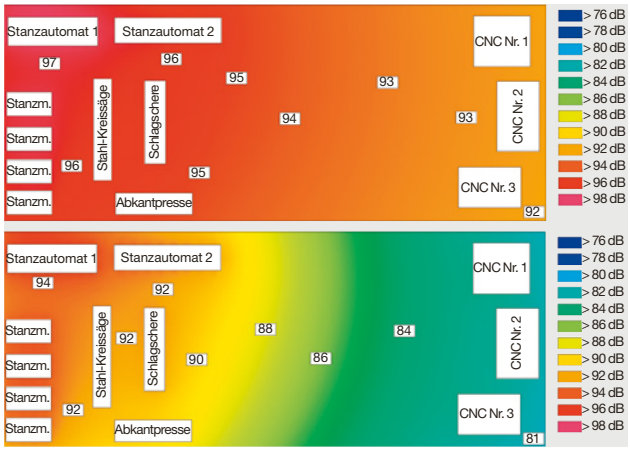
Bei der Planung von Fabrikationsräumen ist es wichtig, dass der Gedanke der räumlichen Unterteilung umgesetzt wird:
- Begrenzen der Schallausbreitung, zum Beispiel durch Unterteilen der Räume oder Aufstellen von Trennwänden (Bild 76, 77)
- Räumliche Konzentration der Lärmquellen

Die Kunststoffabfälle werden mit dem Transportband (Bild 76) zur Kunsstoffmühle im Untergeschoss (Bild 77) befördert. Im Bereich der Mühle beträgt der Schallpegel zirka 100 dB(A), beim Transportband zirka 80 dB(A).

7.5.2 Bau- und raumakustische Massnahmen

Bei den **bauakustischen Massnahmen** geht es im Industriebau primär um die Luftschalldämmung von Decken, Wänden, Türen und Fenstern. Die bauakustische Qualität dieser Bauelemente muss der Pegeldifferenz zwischen lauten Räumen und Anforderung im ruhigen Raum (siehe Ziffer 4.8) Rechnung tragen.

Mit dem Begriff **raumakustische Massnahmen** sind alle Mittel gemeint, mit deren Hilfe einerseits die Halligkeit eines Raumes und andrerseits die direkte Ausbreitung des Lärms innerhalb des gleichen Raumes vermindert oder beeinflusst wird.



78 **Vergleich der Verteilung der Schallpegel in einem Fabrikationsraum ohne Akustikdecke (oben, DL2 = 2,1 dB) und mit einer Akustikdecke (unten, DL2 = 4,3 dB)**

79 **Typischer Fabrikationsraum: Stahlbau mit Profilblech, ohne wirksame Akustikdecke. Dieser Raum wirkt sehr hallig, und der Maschinenlärm stört stark im ganzen Raum.**

Die Lärmbelastung am Arbeitsplatz ist die Summe aus dem Direktschall (Lärm von Arbeitsplatz/Maschine), den Schallreflexionen und den Schallanteilen aller anderen im Raum befindlichen Schallquellen.

Raumakustische Massnahmen (z. B. absorbierende Decken) reduzieren die Reflexionsanteile. Mit einer optimalen Raumakustik kann der Grundlärmpegel im Raum deutlich gesenkt werden. Ohne räumliche Begrenzungsflächen (z. B. im Freien) verringert sich der Schallpegel bei einer Verdoppelung des Abstands zur Schallquelle um 6 dB. In einem halligen Raum beträgt dieser Wert 1 bis 2 dB und in einem akustisch optimierten Raum mindestens 4 dB. Man verwendet zur Bestimmung dieses Werts die Schallausbreitungskurve SAK und bestimmt DL2 in dB. Das Verfahren ist international genormt (EN ISO 11690-3) und gibt an, wie gross die Abnahme des Schallpegels bei Verdoppelung des Abstands gegenüber einer punktförmigen Schallquelle ist.

Im Nahfeld von Lärmquellen bewirkt eine Akustikdecke nur eine kleine Schallpegelreduktion. Je weiter weg man sich aber von Lärmquellen aufhält, desto grösser wird die Schallpegelsenkung. Mit Hilfe eines leistungsfähigen EDV-Programms kann die Schallausbreitung in Arbeitsräumen berechnet werden. Dabei werden die Schallleistungspegel der einzelnen Maschinen und die absorbierenden Eigenschaften der Raumbegrenzungsflächen berücksichtigt (z. B. Akustikdecke). Das Ergebnis einer solchen Berechnung zeigt das Beispiel in Bild 78.

Interpretation von Bild 78

- Ohne Akustikdecke liegen die Schallpegel im ganzen Raum zwischen 92 und 97 dB(A). Sogar im rechten Raumteil ohne Eigenlärm werden Pegel von über 90 dB(A) erreicht.
- Mit Akustikdecke liegen die Schallpegel im Bereich der Lärmquellen immer noch zwischen 90 und 95 dB(A). Im rechten Raumteil aber liegen die Pegel nur noch bei 80 bis 85 dB(A), das heisst um bis zu 11 dB(A) tiefer.

Raumakustische Massnahmen beeinflussen die Qualität des Arbeitsplatzes erheblich. Noch heute werden Produktionsräume ohne raumakustisch wirksame Bauelemente gebaut und somit die raumakustischen Mindestanforderungen gemäss Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz missachtet (Bild 79). Der Einbau von schallabsorbierenden Wand- oder Deckenelementen entspricht dem Stand der Technik (Bild 80 bis 82).

Ausführliche Informationen zum Thema «Industrielle Raumakustik» finden Sie in der Suva-Publikation 66008.d.

80 Akustikdecke in einer Aluminium-Schweisserei

81 Akustikdecke in einer Flaschenabfüllerei. Hier werden Mineralfaserdämmplatten als sogenannte «Baffeln» eingesetzt.

7.6 Reduktion der Schallbelastung: 3. Priorität

7.6.1 Arbeitsorganisation

Die Lärmbelastung der Betroffenen lässt sich mit folgenden organisatorischen Massnahmen reduzieren:

- Lärmarbeit zeitlich beschränken.
- Arbeitsplatz turnusgemäss wechseln («Job rotation»).
- Lärmige Arbeiten ausserhalb der Blockzeit ausführen, um die Zahl der lärmexponierten Personen zu reduzieren.

7.6.2 Persönliche Schutzausrüstung

Lässt sich der Lärm durch technische und organisatorische Massnahmen nicht unter die Grenze für gehörgefährdenden Lärm senken, bleibt zum Schluss nur noch der Schutz des Menschen. Der Einsatz von persönlichen Gehörschutzmitteln und die damit verbundenen Probleme werden unter Ziffer 8 erläutert.

82 Akustikdecke in einem Textilbetrieb

8 Persönliche Gehörschutzmittel

8.1 Wenn technische Massnahmen nicht genügen

Wenn es mit technischen Massnahmen nicht gelingt, die Lärmbelastung auf ein unschädliches Mass zu reduzieren, so müssen die betroffenen Personen Gehörschutzmittel tragen. Gehörschutzmittel stellen einen effizienten Schutz vor Gehörschäden durch Lärm dar. Sie sind sofort und einfach anwendbar und sehr wirksam. Allerdings ist das Tragen von Gehörschutzmitteln mit Unannehmlichkeiten verbunden. Deshalb sollen Gehörschutzmittel erst als letzte Lärmschutzmassnahme eingesetzt werden.

8.2 Praktische Umsetzung des Gehörschutz-Obligatoriums

In vielen Betrieben wird folgende Regel erfolgreich angewendet:

«Bei Schallpegeln L_{eq} ab 85 dB(A) ist ein Gehörschutz zu tragen.»

Diese Regel ist zwar strenger als nach dem Grenzwert für Lärm am Arbeitsplatz erforderlich (vgl. Ziffer 4.7); sie ist aber einfach, wirksam und gut durchsetzbar.

8.3 Information und Instruktion

Der Betrieb muss die betroffenen Arbeitnehmenden informieren, dass ihr Gehör durch die Lärmbelastung während der Arbeit gefährdet ist. Die Mitarbeitenden sind besonders über die folgenden Punkte zu instruieren:

- Wirkungen von gehörgefährdendem Lärm und Entstehung von Gehörschäden; Auswirkungen eines Gehörschadens im Alltag (siehe Ziffer 3)
- getroffene Massnahmen zur Reduktion der Lärmbelastung; Begründung, wieso die Tragpflicht für Gehörschutzmittel unumgänglich ist
- wo und bei welchen Tätigkeiten Gehörschutzmittel zu tragen sind (Begehung, Kennzeichnung)
- Bedeutung des richtigen Tragens für die Schalldämmung und die Schutzwirkung
- Anwendung, Reinigung bzw. Ersatz von Gehörschutzmitteln (praktische Instruktion)
- Bezugsmöglichkeiten, Verfügbarkeit der Gehörschutzmittel
- Vor- und Nachteile der verschiedenen zur Verfügung gestellten Gehörschutzmittel; Eignung für spezifische Tätigkeiten
- Konsequenzen, wenn gegen die Vorschriften bezüglich Tragpflicht verstossen wird
- Mitwirkung der Arbeitnehmenden bei der Auswahl der Gehörschutzmittel

Information und Instruktion sind schriftlich zu dokumentieren, und es ist anzugeben, wann welche Personen von wem über welche Themen informiert und instruiert wurden.

Von zentraler Bedeutung ist, jeder Person genau zu zeigen, wie der Gehörschutz anzuwenden ist.
Mit dem Gehörschutzcheck der Suva kann die Schutzwirkung nachgemessen werden. Nähere Infos unter www.suva.ch/info-gsc-d.

Eine unmittelbare und anschauliche Möglichkeit, die Auswirkungen eines Gehörschadens bewusst zu machen, bietet die CD «Audio Demo 3» der Suva. Sie enthält unter anderem Hörbeispiele, die anhand verschiedener Hörsituationen zeigen, wie sich ein Gehörschaden auf die Wahrnehmung von Sprache und Musik auswirkt (www.suva.ch/99051.d).

Einen guten Einstieg in eine Gehörschutz-Instruktion bietet auch der Film «Napo – Schluss mit Lärm!» (www.suva.ch/laerm).

Ein gesundes Gehör kann durch nichts ersetzt werden!

Es ist wichtig zu wissen, dass selbst modernste Hörgeräte die Auswirkungen eines Gehörschadens nicht wettmachen können. Zwar wurde die Technik von Hörgeräten in den letzten Jahren enorm verbessert. Die Leistungen, die ein gesundes Gehör unter schwierigen Bedingungen erbringt – beispielsweise bei einer Unterhaltung mit Hintergrundgeräuschen in einem Restau-

rant oder während einer angeregten Diskussion – können aber auch durch moderne Hörgeräte nicht gleichwertig erbracht werden.

8.4 Den optimalen Gehörschutz finden

Um einen ausreichenden Schutz der lärmexponierten Personen zu erreichen, sind bei der Wahl von Gehörschutzmitteln die folgenden Faktoren speziell zu berücksichtigen:
- Tragkomfort
- Eignung für die Tätigkeit
- Dämmung, die der Schallbelastung entspricht

Die ersten beiden Faktoren sind entscheidend, ob ein Gehörschutzmittel im Alltag getragen wird und seine Schutzwirkung überhaupt entfalten kann!

So wird sich für einen Meister in einem Produktionsbetrieb, der sich mehrmals täglich während einiger Minuten im Lärm aufhält und die restliche Zeit im ruhigen Büro arbeitet, ein Kapselgehörschutz sehr gut eignen, weil er diesen rasch aufsetzen und wieder ablegen kann. Seine Mitarbeitenden, die dauernd einen Gehörschutz tragen müssen, werden Gehörschutzpfropfen vorziehen, auch wenn es etwas länger dauert, bis sie diese korrekt im Gehörgang platziert haben. Für sie wäre es vor allem im Sommer unzumutbar, den ganzen Tag Gehörschutzkapseln zu tragen.

Dieses Beispiel zeigt auch, dass es sehr wichtig ist,

L_{EX} in dB(A)	Empfohlener SNR-Wert
< 90	15–20 dB
90–95	20–25 dB
95–100	25–30 dB
100–105	30–35 dB
über 105	spezielle Abklärung

Tabelle 25 Welche Dämmung (SNR-Wert) ist bei welchem Lärmexpositionspegel L_{EX} notwendig?

83 Die Auswahl an Gehörschutzmitteln ist gross!

dass die Mitarbeitenden aus einer Palette verschiedener Produkte selber dasjenige Gehörschutzmittel auswählen können, das ihren persönlichen Anforderungen am besten entspricht.

Welche Dämmwerte ein Gehörschutzmittel aufweisen sollte, um bei einem bestimmten Lärmexpositionspegel einen ausreichenden Schutz zu bieten, kann Tabelle 25 entnommen werden[1]. Eine übermässige Dämmung (Überprotektion) sollte vermieden werden, da sonst die Wahrnehmung von erwünschtem Schall wie Gesprächen, Telefonklingeln oder Alarmsignalen erschwert wird. Der SNR-Wert ist in der Produktbeschreibung auf der Verpackung oder in der Gebrauchsanleitung jedes Gehörschutzmittels angegeben.

Bei Lärmexpositionen bis L_{EX} 90 dB(A) sind Gehörschutzmittel mit einem SNR-Wert von 15 bis 20 dB ausreichend. Da Gehörschutzmittel eine Mindestdämmung SNR von 15 dB aufweisen müssen, herrscht für diesen Lärmpegel-Bereich also «freie Wahl» aus dem breiten Angebot an Gehörschutzmitteln. Gehörschutzmittel mit einem SNR-Wert über 25 dB sind in diesem Fall nicht zu empfehlen, da sie zu einer unnötigen Abschottung von der Umgebung (Überprotektion) führen.

[1] Für eine genauere Beurteilung wird auf SN EN 458 verwiesen, in der verschiedene Auswahlkriterien detailliert beschrieben sind.

Bei Lärmexpositionspegeln L_{EX}, die wesentlich über 100 dB(A) liegen, sind spezielle Abklärungen unter Beizug eines Spezialisten der Arbeitssicherheit erforderlich. Ebenso bei Belastungen mit stark tieftonhaltigem Lärm [L_{Ceq} über 105 dB(C)], wie sie etwa bei Elektro-Schmelzöfen, Grossdieselmotoren, Vibrationsförderanlagen oder Kompressoren auftreten können.

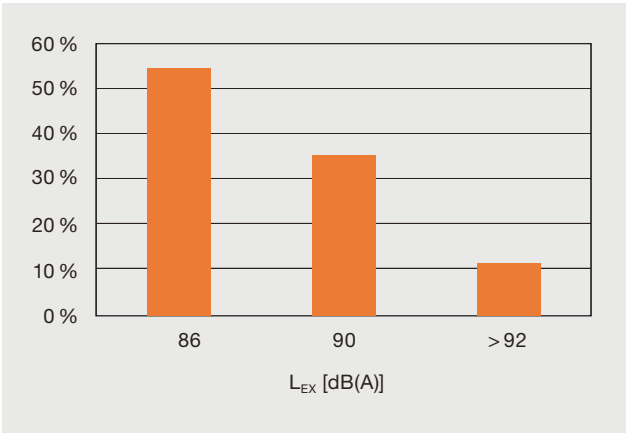
Von den lärmexponierten Personen, die regelmässig im Audiomobil untersucht werden, sind etwa 90 % Lärmexpositionspegeln von 85 bis 92 dB(A) ausgesetzt (Bild 84). Für diese Personen bieten Gehörschutzmittel mit SNR-Werten von 15 bis 20 dB guten Schutz.

Nur etwa 10 % der beruflich lärmexponierten Personen sind Lärmexpositionspegeln von 93 dB(A) und mehr ausgesetzt und müssen stärker dämmende Gehörschutzmittel tragen. Gehörschutzmittel mit speziellen Dämmeigenschaften benötigt jedoch nur ein Teil dieser Personen, nämlich diejenigen, die sehr hohen Schallpegeln oder tieffrequentem Lärm ausgesetzt sind (Bild 85).

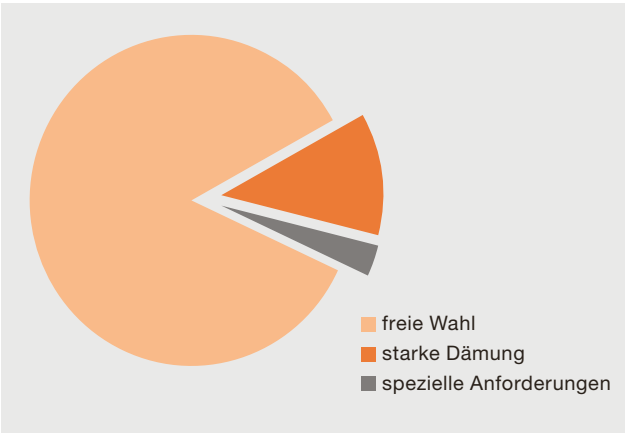
8.5 Anwendung im Alltag

Ob eine Person ausreichend vor gehörgefährdendem Lärm geschützt ist, entscheidet letztlich die Anwendung im Alltag, genauer gesagt das konsequente und richtige Tragen des Gehörschutzes.

Untersuchungen haben ergeben, dass die wirksame Dämmung von Gehörschutzpfropfen in der Praxis um 5 bis 10 dB geringer ist, wenn sie aufgrund von mangelhafter Instruktion zu wenig tief in den Gehörgang eingeführt wurden. Es ist entscheidend, dass Gehörschutzmittel gemäss der Gebrauchsanleitung des Herstellers verwendet werden.



84 Verteilung der Lärmexposition der im Audiomobil untersuchten Personen



85 Nur ein kleiner Teil der lärmexponierten Personen benötigt einen Gehörschutz mit spezifischen Dämmeigenschaften.

Gehörschutz		Zeit mit Gehörschutz						
SNR	Wirksame Dämmung	100 %	99 %	95 %	90 %	75 %	50 %	25 %
30 dB	25 dB	69	75	81	84	88	91	93
20 dB	15 dB	79	80	83	85	88	91	93
15 dB	10 dB	84	84	86	87	89	91	93

Tabelle 26 Abnahme der Schutzwirkung, wenn Gehörschutzmittel nur während eines Teils der Lärmexposition getragen werden [L_{EX} = 94 dB(A)].

Wird ein Gehörschutzmittel nur während eines Teils der Lärmexposition getragen, so nimmt die tatsächliche Schutzwirkung drastisch ab – die Gehörbelastung steigt rasch auf gehörgefährdende Pegel an. Tabelle 26 zeigt die Auswirkungen, wenn bei einem Lärmexpositionspegel L_{EX} von 94 dB(A) Gehörschutzmittel mit verschiedenen SNR-Werten nur zeitweise getragen werden[2].

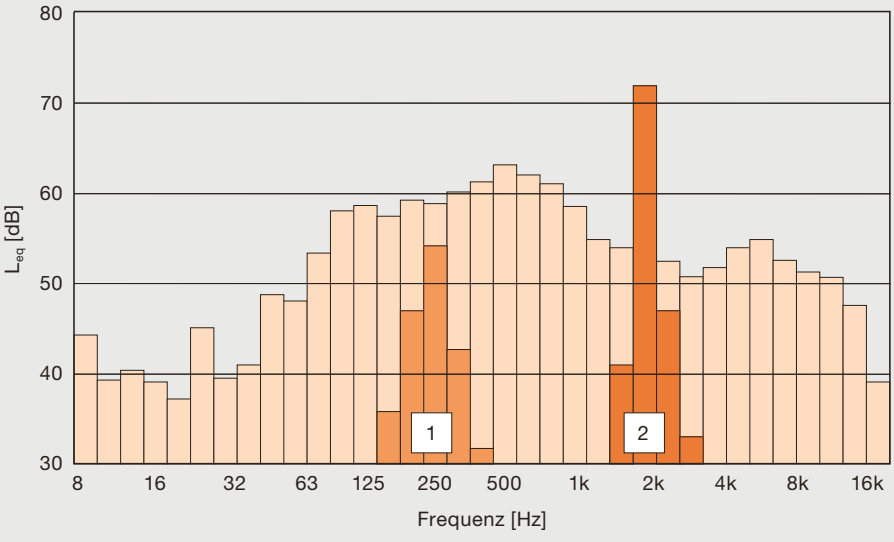
Ein stark dämmendes Gehörschutzmittel mit einem SNR-Wert von 30 dB muss während 90 % der Lärmexposition getragen werden, um einen ausreichenden Schutz zu gewährleisten. Ein schwach dämmendes Gehörschutzmittel mit einem SNR-Wert von 15 dB muss während 99 % der Expositionszeit getragen werden, damit die verbleibende Gehörbelastung den Grenzwert nicht überschreitet. Da diese Forderung schwierig zu erfüllen ist, wird in Tabelle 25 für einen Lärmexpositionspegel L_{EX} von 94 dB(A) ein Gehörschutzmittel mit einem SNR von 20 dB empfohlen. Damit ist auch unter ungünstigen Bedingungen ein ausreichender Schutz gewährleistet.

Anhand dieser Beispiele wird deutlich, wie wichtig es ist, den Gehörschutz im Lärm richtig und immer zu tragen.

[2] Im Beispiel wird angenommen, dass der Gehörschutz nicht optimal getragen wird und dadurch die wirksame Dämmung um 5 dB geringer ist als der SNR-Wert.

8.6 Signalwahrnehmung mit Gehörschutz

Wenn eine Person einen Gehörschutz trägt, nimmt sie alle Geräusche entsprechend den jeweiligen Dämmeigenschaften leiser wahr. Dabei verändern sich die Frequenzspektren verschiedener Geräusche nur unbedeutend. Es ist auch mit Gehörschutz möglich, verschiedene Geräusche zu unterscheiden oder Klangveränderungen wahrzunehmen – allenfalls ist eine Angewöhnung von einigen Wochen notwendig.



86 Signalwahrnehmung im Lärm

Akustische Signale (Telefonklingeln, Signalhorn, Zurufe) können nur wahrgenommen werden, wenn sie im betreffenden Frequenzband einen um 5 bis 7 dB höheren Pegel aufweisen als das Störgeräusch. Um Sprache sicher verstehen zu können, muss diese sogar um 7 bis 10 dB lauter sein als das Hintergrundgeräusch.

Von den beiden Signalen in Bild 86 ist neben dem Hintergrundgeräusch eines Kolbenkompressors nur Signal 2 wahrnehmbar, weil es im Frequenzband von 2000 Hz fast 20 dB lauter ist als das Hintergrundgeräusch. Signal 1 kann nicht wahrgenommen werden, da es etwa 5 dB leiser ist als das Geräusch des Kompressors im Frequenzband von 250 Hz.

Das Tragen eines Gehörschutzmittels ändert nichts daran, dass nur Signal 2 wahrnehmbar ist und Signal 1 im Hintergrundgeräusch untergeht. Wenn allerdings Signal 2 durch einen Gehörschutz so stark gedämmt wird, dass es unter die Hörschwelle fällt, so kann die Person dieses Signal mit dem Gehörschutz nicht mehr wahrnehmen. Aus diesem Grund wird beispielsweise für Rangierarbeiter und Gleisbauer ein Mindesthörvermögen gefordert, um die Wahrnehmung von Warnsignalen sicherzustellen. Solche Probleme können reduziert werden, wenn auf eine genügende, aber nicht übermässige Dämmung der Gehörschutzmittel geachtet wird.

Immer wieder taucht in Betrieben auch die Frage auf, ob die Mitarbeitenden während der Arbeit Musik hören dürfen. Antwort auf diese Frage gibt die Checkliste «Musikhören am Arbeitsplatz» (www.suva.ch/67121.d). Zu bedenken ist, dass Personen sich selber oder auch andere gefährden können, wenn sie wegen der Musik ein Warnsignal überhören.

8.7 Weitere Informationen

Über die Eigenschaften und über Vor- und Nachteile der verschiedenen Arten von Gehörschutzmitteln (auch über individuell angepasste, «otoplastische» Gehörschutzmittel) informiert die Internetseite www.suva.ch/gehoerschutz. Sie beantwortet auch häufig gestellte Fragen.

Mit der Checkliste «Gehörschutzmittel» (www.suva.ch/67020.d) können Sie überprüfen, ob die Gehörschutzmittel in Ihrem Betrieb richtig eingesetzt und gewartet werden.

Ein breites Angebot an Gehörschutzmitteln finden Sie unter www.sapros.ch/gehoerschutz.

9 Verhütung lärmbedingter Gehörschäden

87 Die Verwendung der persönlichen Schutzausrüstung ist im Rahmen des Sicherheitssystems verbindlich zu regeln.

Zur Verhütung von Gehörschäden können technische, organisatorische und persönliche Massnahmen getroffen werden. In vielen Fällen ist es jedoch nicht möglich, das Lärmproblem mit einer einzelnen Massnahme endgültig zu lösen. Um einen optimalen Schutz zu erreichen, müssen Lärmschutzmassnahmen systematisch geplant und organisiert werden: Der Lärmschutz ist im Sicherheitssystem des Betriebs zu verankern.

Mit regelmässigen Gehöruntersuchungen bei den exponierten Personen lässt sich überprüfen, ob die Lärmschutzmassnahmen ausreichend sind. Dabei kann beispielsweise eine beginnende Lärmschwerhörigkeit festgestellt werden, bevor sie sich im Alltag der betroffenen Person auswirkt. Entsprechende Massnahmen zum besseren Schutz dieser Person können das Fortschreiten der Schädigung verhindern.

9.1 Der Lärmschutz im betrieblichen Sicherheitssystem

9.1.1 Lärmschutzkonzept im Betrieb

Wenn in einem Betrieb Personen gehörgefährdendem Lärm ausgesetzt sind oder dies durch Veränderungen künftig der Fall sein könnte, so sind Lärmschutz und Gehörschadenprophylaxe als fester Bestandteil in das Sicherheitssystem des Betriebs zu integrieren. Tabelle 28 hält wichtige Punkte fest, die dabei zu regeln sind. Die Liste ist den Verhältnissen im Betrieb anzupassen und zu ergänzen.

Die Checkliste «Lärm am Arbeitsplatz» stellt eine Arbeitshilfe dar, um den Handlungsbedarf bezüglich Lärmschutz abzuklären oder bereits getroffene Massnahmen zu überprüfen (www.suva.ch/67009.d).

9.1.2 Verhalten bei einem Knalltrauma

Sollte trotz der getroffenen Schutzmassnahmen ein Unfall oder ein anderes Ereignis mit Auswirkungen auf das Gehör eintreten, so ist es wichtig, rasch und richtig zu handeln (siehe Tabelle 27). Die Heilungschancen können wesentlich erhöht werden, wenn die Behandlung innerhalb von ein bis zwei Tagen nach dem Ereignis beginnt.

Festgestellte Beschwerden	Empfohlenes Vorgehen
Gefühl von «Watte in den Ohren»	Keine besonderen Massnahmen; Beschwerden sollten innert 24 Stunden verschwinden
Pfeifton oder Ohrgeräusch, «Ohrensausen»	Wenn die Beschwerden nach 24 Stunden bzw. am nächsten Morgen nicht verschwunden sind: Arzt oder Ohrenarzt aufsuchen
Plötzliche Schwerhörigkeit auf einem oder beiden Ohren (Hörsturz)	Unverzüglich einen Arzt oder Ohrenarzt aufsuchen

Tabelle 27 Vorgehen bei verschiedenen Gehörbeschwerden

9.1.3 Vorgehen bei Verdacht auf einen lärmbedingten Gehörschaden

Wenn ein Mitarbeiter eines Betriebs über sein schlechtes Gehör klagt und einen Zusammenhang mit einer eventuell auch weiter zurückliegenden beruflichen Lärmexposition vermutet, soll er sich für eine Gehöruntersuchung an einen Ohrenarzt wenden. Erhärtet sich dabei der Verdacht auf einen Gehörschaden durch berufliche Lärmexposition, so muss der Betrieb dies der Berufsunfall-Versicherung (Suva oder Privatversicherer) mit einer Schadenmeldung mitteilen.

Nach der Schadenmeldung an die Suva nimmt die zuständige Agentur der Suva mit dem Versicherten Kontakt auf, um detaillierte Angaben über die bisher ausgeübten beruflichen Tätigkeiten (Berufsanamnese) und die damit verbundene Lärmexposition zu erheben. Gestützt auf diese Angaben erfolgt eine technische

Kapitel im Sicherheitshandbuch	Was ist zu regeln?	beschrieben in
1. Sicherheitsleitbild, Sicherheitsziele	Gesundheits- und Lärmschutz im Leitbild verankern	66101.d
2. Sicherheitsorganisation	Verantwortlichkeiten festlegen	66101.d
3. Ausbildung, Instruktion, Information	Mitarbeitende über Gefährdung durch Lärm informieren: • Risiko eines Gehörschadens durch Lärm • Auswirkung eines Gehörschadens im Alltag • keine Heilung möglich • getroffene technische Massnahmen darstellen • notwendige persönliche Massnahmen erläutern und instruieren • besonderer Schutz für Schwangere • Sicherheitsregeln erläutern und instruieren	Ziffer 3, 8.3 Ziffer 4.1, 4.4
4. Sicherheitsregeln	Regelung der Tragpflicht für Gehörschutzmittel: • Lärmbereiche • Tätigkeiten Berücksichtigung des Faktors «Lärm» bei: • Beschaffung neuer Maschinen • Evaluation neuer Arbeitsmethoden • Um- und Neubauten • Sanierungen	Ziffer 8.2 Ziffer 7
5. Gefahrenermittlung, Risikobeurteilung	Risikobeurteilung gemäss geltenden Grenzwerten für gehörgefährdenden Lärm	Ziffer 6
6. Massnahmenplanung und -realisierung	Prüfung und Umsetzung von Massnahmen zur Lärmminderung	Ziffer 7
7. Notfallorganisation	Vorgehen bei akuten Gehörproblemen regeln	Ziffer 9.1.2
8. Mitwirkung	Personal einbeziehen bei: • Auswahl der zur Verfügung stehenden Gehörschutzmittel • Planung der technischen, organisatorischen und persönlichen Lärmschutzmassnahmen	Ziffer 4.2.4, 8.4
9. Gesundheitsschutz	Sicherstellen, dass der Betrieb im Prophylaxe-Programm der Suva erfasst ist	Ziffer 9.2
10. Kontrolle, Audit	• regelmässige Überprüfung der getroffenen Massnahmen • Kontrolle der korrekten Gehörschutz-Anwendung • Erkennen von Verbesserungsmöglichkeiten	67009.d, 67020.d

Tabelle 28 Verankerung des Lärmschutzes im betrieblichen Sicherheitssystem.

Beurteilung der beruflichen Lärmexposition. Wenn für die Arbeitsplätze und Tätigkeiten in den angegebenen Zeiträumen Schallmessprotokolle vorliegen, ist anhand dieser Daten eine direkte Beurteilung möglich. Sind keine individuellen Messdaten vorhanden, erfolgt die Beurteilung mit besonderen Schallpegeltabellen, die Angaben über die Lärmbelastung bei den verschiedenen Tätigkeiten in vergangenen Jahrzehnten enthalten und die Gleichbehandlung gewährleisten.

Zur Abklärung von Fragen sind oft auch spezielle Messungen oder Arbeitsplatz-Begehungen notwendig.

Die medizinische Beurteilung der Fälle erfolgt anschliessend durch einen Ohrenarzt der Suva, der besonders die Frage zu beantworten hat, ob der festgestellte Gehörschaden ausschliesslich oder vorwiegend durch die berufliche Lärmexposition verursacht worden ist. Der Entscheid (Anerkennung als Berufskrankheit, Kostengutsprache für Hörgeräte, Indikationsstufe) wird dem Versicherten schliesslich von der zuständigen Agentur der Suva mitgeteilt.

88 Die Audiomobile der Suva sind mit allem ausgerüstet, was es für die Gehöruntersuchung braucht.

9.2 Die Gehörschadenprophylaxe der Suva

9.2.1 Gehöruntersuchungen im Audiomobil

Die Suva betreibt sogenannte «Audiomobile» (Bild 88). Das sind Busse mit je zwei Kabinen, in denen Gehöruntersuchungen durchgeführt werden können. Diese Untersuchungen haben folgende Ziele:

- Information der Betroffenen über das persönliche Hörvermögen und über die Gefahren bei Arbeiten im Lärm
- periodische Untersuchung der beruflich lärmexponierten Personen auf ihre Eignung für Arbeiten im Lärm
- besonders lärmempfindliche oder hörgeschädigte Personen ausfindig machen, den für sie richtigen Gehörschutz bestimmen und zum Tragen dieses Gehörschutzes motivieren
- beginnende Hörstörungen entdecken, um besonders lärmempfindliche Personen oder solche, die aus medizinischen Gründen kein Gehörschutzmittel verwenden dürfen, rechtzeitig versetzen zu können
- den mitgebrachten Gehörschutz auf Zustand und Wirksamkeit prüfen sowie über dessen korrekte Anwendung instruieren
- die Verantwortlichen und betroffene Personen über das Gehörschadenrisiko informieren und sensibilisieren

Die Audiomobile ermöglichen eine rationelle Durchführung der Untersuchungen (geringe Verluste durch minimale Absenzdauer) und garantieren eine gleichbleibende, hohe Qualität. Das lärmexponierte Personal eines Betriebes wird zirka alle fünf Jahre zur Untersuchung aufgeboten.

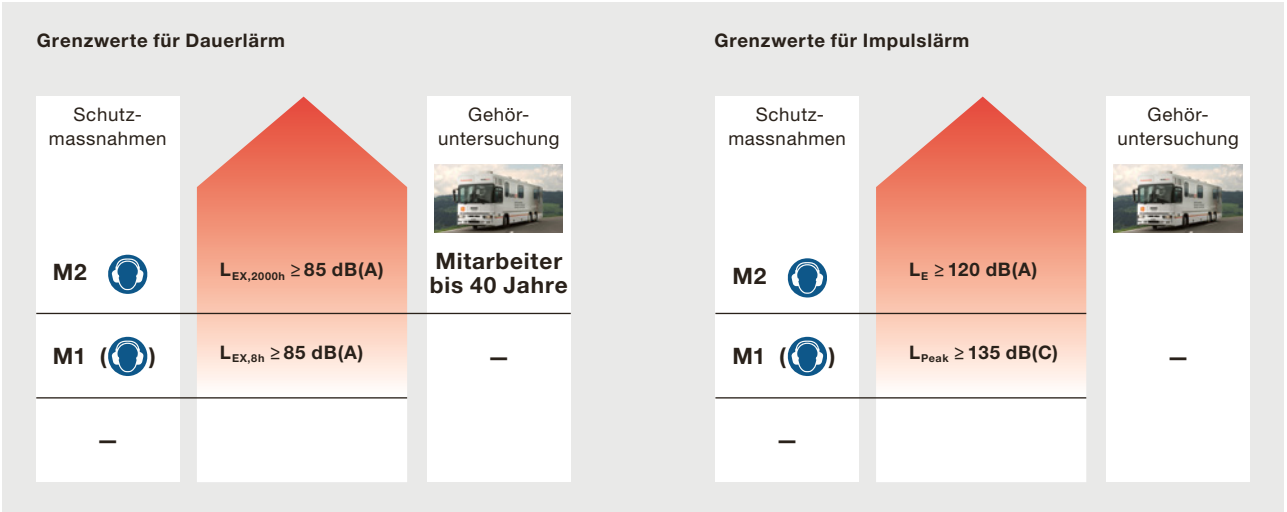
Das Audiomobil-Programm wird aus dem Zuschlag auf den Nettoprämien der Berufsunfallversicherung finanziert.

9.2.2 Welche Personen werden im Audiomobil untersucht?

Für Personen mit einer jährlichen Lärmexposition $L_{EX,2000h}$ von 85 dB(A) oder mehr sind die Gehöruntersuchungen bis zum 40. Altersjahr obligatorisch. Eine Entwicklung eines Lärmhörschadens kann in diesem Alter noch verhindert werden. Die Suva bietet vereinzelt auch ältere Personen auf, die gefährdet sind.

Aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen (Art. 70 VUV) werden die Betriebe, in denen Lärmexpositionen über dem Grenzwert bestehen, über die Massnahmen zum Schutz des Gehörs sowie über die Durchführung der medizinischen Gehörschadenprophylaxe durch die Suva informiert. Unabhängig davon sind die Betriebe verpflichtet, die notwendigen Lärmschutzmassnahmen zu treffen.

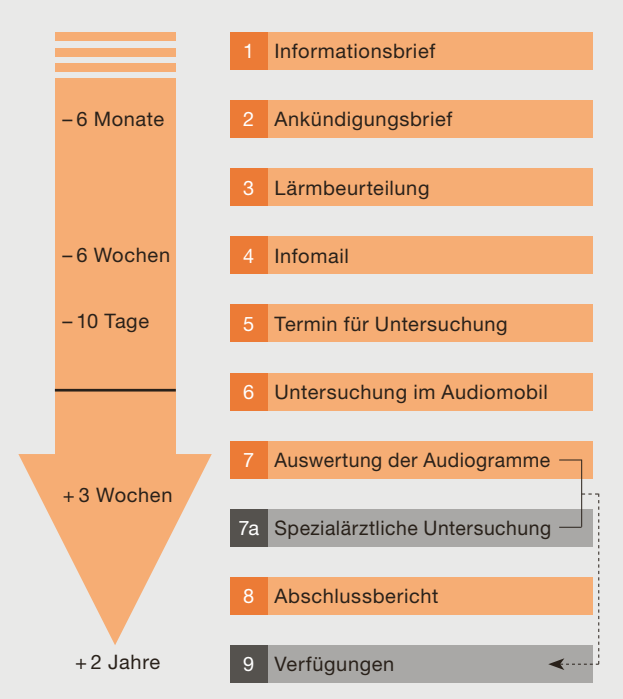
Lehrlinge in «Lärmberufen» (z. B. Schreiner, Schlosser, Verkehrswegbauer) werden untersucht, unabhängig davon, ob sie bei ihrer jetzigen Tätigkeit tatsächlich gehörgefährdendem Lärm ausgesetzt sind (geringere Lärmexposition durch Schulbesuch, häufige manuelle Arbeiten ohne grossen Lärm). Dies ist sinnvoll, um den Zustand des Gehörs zu Beginn der beruflichen Lärmexposition zu erfassen (Vorschäden) und allfällige medizinische Probleme frühzeitig zu erkennen, die später zu einem Berufswechsel mit einer aufwendigen Umschulung führen könnten.



89 Schematische Darstellung der Grenzwerte für Dauerlärm und für impulsartigen Lärm

9.2.3 Organisation und Ablauf der Gehöruntersuchungen

Jährlich wird in den Audiomobilen der Suva das Gehör von rund 38 000 Personen aus 4500 Betrieben untersucht. Die Planung benötigt aufgrund der vielen Beteiligten und der für eine gute Auslastung der Audiomobile notwendigen Koordination einige Zeit. So liegen zwischen der ersten Kontaktaufnahme mit dem Betrieb im Vorfeld und der eigentlichen Untersuchung etwa 8 Monate (Bild 90). Die Untersuchungen werden so geplant, dass die Belastung für die Betriebe möglichst gering ist (kurze Anfahrtswege, geringe Ausfallzeiten). Es wird auch auf Schichtarbeit, Betriebsferien und saisonales oder auswärts tätiges Personal nach Möglichkeit Rücksicht genommen.



90 Gehöruntersuchungen der Suva: Ablaufschema

1 Betriebe, die der VUV unterliegen und in denen gehörgefährdender Lärm auftreten kann, werden über ihre Pflichten zum Schutz des Gehörs ihrer Mitarbeitenden und über die Gehörschadenprophylaxe der Suva informiert.

2 Die Betriebe werden von der Suva auf die bevorstehende Gehöruntersuchung ihrer Mitarbeitenden im Audiomobil hingewiesen und aufgefordert, die Anzahl zu untersuchender Personen zu melden. Ebenso sind Besonderheiten wie Schichtarbeit usw. anzugeben.

3 Mögliche Vorgehensweisen für die Lärmbeurteilung sind unter Ziffer 6 ausführlich dargestellt.

4 Etwa sechs Wochen vor dem Untersuchungstermin wird der ungefähre Zeitpunkt und der Ort der Untersuchungen bekannt gegeben. Der Betrieb erhält via E-Mail einen Link, um die Daten der zu untersuchenden Personen zu erfassen. Die Berechnung der Lohnausfallentschädigung wird ebenfalls erklärt.

5 Das Audiomobil-Team legt mit der Kontaktperson des Betriebs telefonisch den Untersuchungstermin fest.

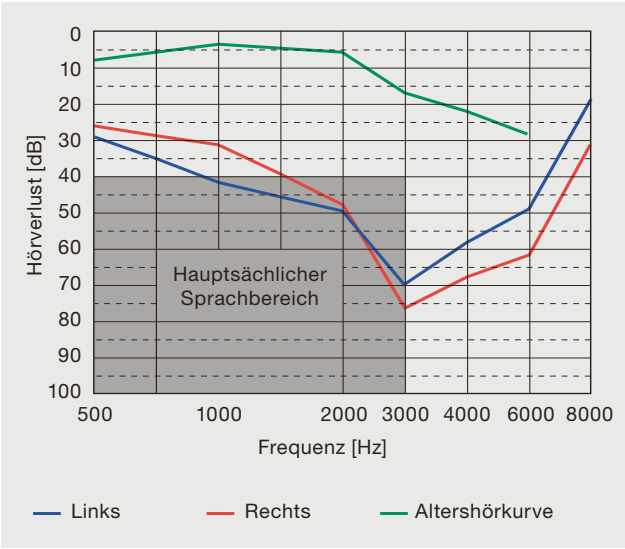
6 Die Untersuchung erfolgt während der üblichen Arbeitszeiten. Pro halbe Stunde werden 4 Personen untersucht.

7 Spezialisten der Arbeitsmedizin der Suva werten die Untersuchungsergebnisse aus.

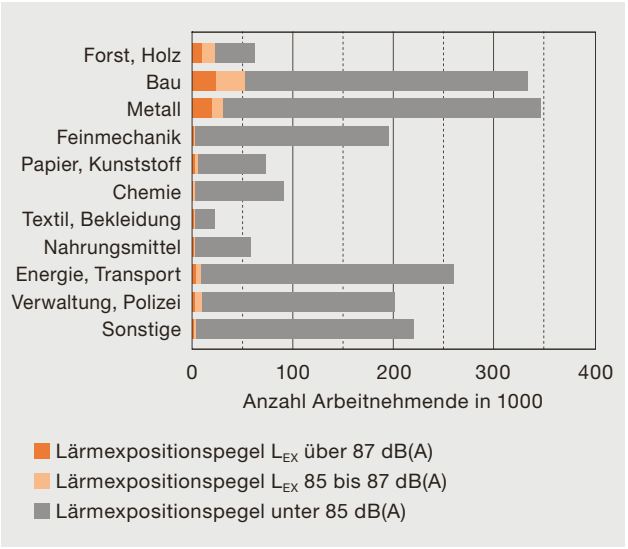
7a Lassen die Ergebnisse keine abschliessende Beurteilung zu, so werden die Betroffenen zu einer spezialärztlichen Untersuchung aufgeboten.

8 Abschliessend erhält der Betrieb einen zusammenfassenden Bericht mit den Namen der untersuchten Personen sowie Angaben über die Gehörschutzmittel-Tragdisziplin. Die untersuchte Person erhält nur dann einen persönlichen schriftlichen Bericht, wenn spezielle Massnahmen getroffen werden müssen.

9 Aufgrund der vorliegenden Befunde wird besonders gefährdeten Personen direkt mitgeteilt, welche Art von Gehörschutzmittel im Lärm unbedingt zu verwenden ist (bedingte Eignungsverfügung). Nur in seltenen Fällen, zum Beispiel wenn eine Person unter einer besonderen Ohrenkrankheit leidet, muss ihr die Suva die Arbeit an einem Arbeitsplatz mit gehörgefährdendem Lärm verbieten (Nichteignungsverfügung).



91 Ergebnisse des Gehörtests als Audiogramm dargestellt



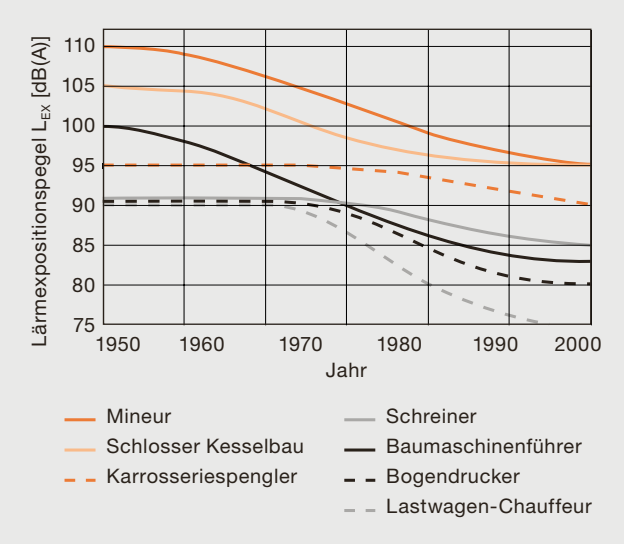
92 Lärmexposition in verschiedenen Branchen

9.2.4 Die Untersuchung im Audiomobil

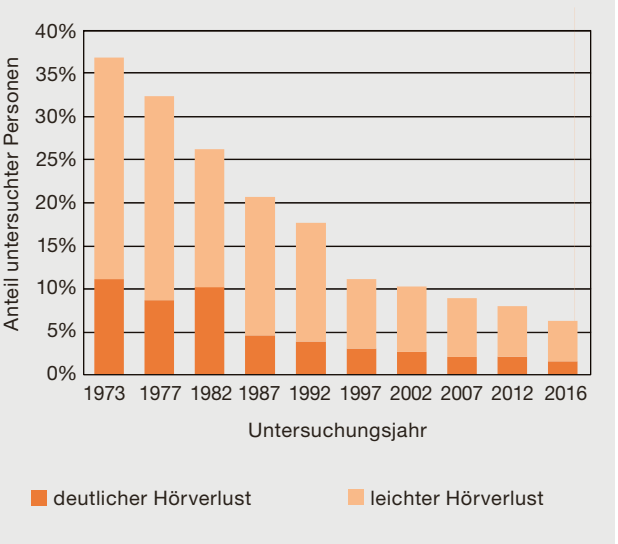
Im Rahmen der Gehöruntersuchung im Audiomobil wird erhoben, welche Berufe oder Tätigkeiten mit Lärmbelastung die zu untersuchende Person bisher ausgeübt hat (Berufsanamnese). Mit Hilfe der Schallpegeltabellen (siehe Ziffer 6.4 und 6.5) und der Daten der Lärmquellen-Datenbank der Suva kann aufgrund dieser Angaben die bisherige berufsbedingte Lärmbelastung abgeschätzt werden.

Beim eigentlichen Hörtest wird die Hörschwelle (leisester noch hörbarer Ton) im Bereich von 500 bis 8000 Hz bestimmt (siehe Ziffer 3.3) und in Form eines Audiogramms (Bild 91) dargestellt. Im abschliessenden Gespräch wird die untersuchte Person über die Ergebnisse informiert: Das Audiogramm wird erklärt und die individuelle Hörkurve mit Referenzkurven von gleichaltrigen, normal hörenden Personen verglichen. Die untersuchte Person erhält einen Ausdruck ihres Audiogramms mit den wichtigsten Untersuchungsergebnissen. Schliesslich wird die Person beraten, welches Gehörschutzmittel für ihre Situation am besten geeignet ist und wie sie es korrekt anwendet.

Sämtliche Daten der Berufsanamnese und der Gehöruntersuchung werden archiviert und stehen für spätere Fragen und Abklärungen zur Verfügung. Eine detaillierte Beschreibung der Untersuchung im Audiomobil finden Sie in der Suva-Publikation «Verhütung der beruflichen Lärmschwerhörigkeit» (www.suva.ch/1909/1.d).



93 Entwicklung der Lärmexposition in verschiedenen Berufen



94 Statistik der Hörverluste der Personen, die im Audiomobil untersucht wurden

9.3 Anteil der Lärmexponierten in verschiedenen Branchen

Bild 92 zeigt, welcher Anteil der Arbeitnehmenden einer Branche gehörgefährdendem Lärm ausgesetzt ist.

Von den Lärmexponierten arbeiten 37 % in der Baubranche, 22 % in der Metallbranche und 16 % im Forst und in holzverarbeitenden Betrieben. Innerhalb der Branchen ist der Anteil der Lärmexponierten in der Holzindustrie (37 %) und in der Baubranche (16 %) am grössten.

9.4 Entwicklung der beruflichen Lärmbelastung

Die Lärmbelastung hat in den letzten Jahrzehnten an vielen Arbeitsplätzen deutlich abgenommen. Bild 93 zeigt für einige Berufe eine drastische Senkung der Lärmexposition, die wohl vor allem auf den technischen Fortschritt zurückzuführen ist. Neue Arbeitstechniken sind weniger lärmintensiv, lärmarm konstruierte Maschinen erzeugen bereits an der Quelle weniger Lärm, Fahrzeuge verfügen über schallisolierte Kabinen.

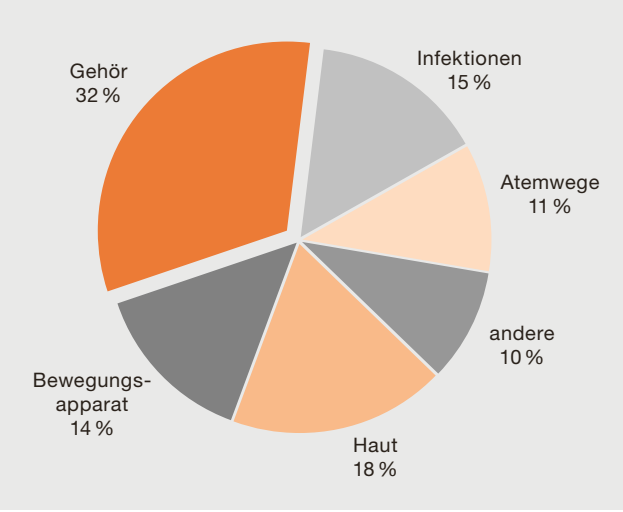
Auch die Tatsache, dass moderne Produktionsanlagen nicht mehr bedient, sondern nur noch überwacht werden müssen, wirkt sich positiv aus, indem die Zahl der lärmexponierten Personen abnimmt. Diese Entwicklung ist aber nur ein Nebenprodukt des Stellenabbaus und der Verlagerung von Arbeitsplätzen in der Industrie – sozusagen ein positiver Nebeneffekt der dramatischen Veränderungen in unserer Wirtschaft.

Leider ist immer wieder zu beobachten, dass der technische Fortschritt eine Leistungssteigerung erlaubt und die erhöhte Produktionsgeschwindigkeit die Anstrengungen zur Lärmminderung ausgleicht oder gar zunichtemacht. An vielen Arbeitsplätzen konnte deshalb die Lärmexposition kaum reduziert werden. Hier gilt es, weiter nach Möglichkeiten zur Lärmreduktion zu suchen.

9.5 Erfolgskontrolle der Gehörschadenprophylaxe

Die Massnahmen zur Gehörschadenprophylaxe zeigen Wirkung. So hat der Anteil der Personen, die im Audiomobil untersucht werden und eine Hörschädigung aufweisen, in den letzten 30 Jahren markant abgenommen (Bild 94).

Trotz dieser positiven Wirkung der Gehörschadenprophylaxe liegt die Anzahl der Fälle, in denen die Unfallversicherer eine berufsbedingte Lärmschwerhörigkeit als Berufskrankheit anerkennen, nach wie vor sehr hoch (2010: 993 Fälle). Schädigungen des Gehörs sind damit heute die häufigsten Berufskrankheiten (Bild 95). Bei den allermeisten dieser Fälle erfolgten die schädigenden Lärmbelastungen in den Jahren zwischen 1960 und 1980.



95 **Anteil der Schädigungen des Gehörs an der Zahl der anerkannten Berufskrankheitsfälle im Zeitraum 2006 bis 2010**

9.6 Auch Lärm in der Freizeit ist schädlich

Natürlich können auch starke Lärmbelastungen während der Freizeit das Gehör beeinträchtigen oder schädigen. Hobbys wie Motorradfahren, Musizieren oder Jagen, das Arbeiten mit lauten Geräten beim Heimwerken oder der Besuch von Veranstaltungen mit elektronisch verstärkter Musik können bei entsprechender zeitlicher Ausdehnung zu einer gehörgefährdenden Lärmbelastung führen. In diesem Fall ist es sinnvoll, auch in der Freizeit einen Gehörschutz zu tragen und die Möglichkeiten zur Reduktion der Lärmbelastung zu nutzen.

Auf das Freizeitverhalten seiner Mitarbeitenden kann der Betrieb nicht direkt Einfluss nehmen. Wenn den Mitarbeitenden aber die Auswirkungen eines Gehörschadens bewusst gemacht werden, so wird sich dieses Bewusstsein auch auf das Freizeitverhalten auswirken. Mitarbeitende, die am Arbeitsplatz gute Erfahrungen mit dem Tragen von Gehörschutzmitteln machen, werden diese auch in der Freizeit anwenden. Nähere Informationen zur Lärmbelastung durch Musik – vor allem im Zusammenhang mit elektronisch verstärkter Musik in Discos, an Partys, Konzerten oder beim Musizieren in einer Band – finden Sie in der Publikation «Musik und Hörschäden» (www.suva.ch/84001.d).

10 Zusammenfassung

Lärmschwerhörigkeit ist unheilbar, aber vermeidbar! Die vorliegende Publikation will einen Beitrag leisten zur Verhütung der häufigsten Berufskrankheit in der Schweiz. Die Grundlagen des Lärmschutzes sind darin umfassend dargestellt. Mit ihrer Fülle von Informationen eignet sich die Publikation auch als Nachschlagewerk.

Das Kapitel «Akustische Grundbegriffe» führt in das Thema Lärm ein. Im Kapitel «Gehör» werden die Funktionsweise und die ausserordentlichen Leistungen des Gehörs beschrieben. Ebenso wird gezeigt, welche Schäden der Lärm im Gehör verursacht und wie sich ein lärmbedingter Gehörschaden entwickelt und im täglichen Leben auswirkt.

Der Arbeitgeber ist gesetzlich verpflichtet, Gehörschäden durch Lärmbelastung am Arbeitsplatz zu vermeiden. Aber auch die Arbeitnehmenden haben – neben dem Recht auf Mitwirkung – Pflichten. Sie müssen die Sicherheitsvorschriften befolgen und persönliche Schutzmittel tragen. Auf die gesetzlichen Verpflichtungen und die rechtlichen Grundlagen für die Lärmbekämpfung wird in Kapitel 4 eingegangen.

Wie misst man Lärm? Diese Frage beantwortet das Kapitel «Schallmesstechnik». Hier werden der Aufbau und der Anwendungsbereich von Schallmessgeräten erklärt und das richtige Vorgehen bei einer Messung beschrieben.

Wo der Lärm den Grenzwert überschreitet, ist er mit technischen Massnahmen zu vermindern. Das Kapitel «Lärmbekämpfung» zeigt Lösungswege und Beispiele aus der Praxis. Wenn es nicht möglich ist, den Lärm mit technischen Massnahmen auf ein unschädliches Mass zu senken, müssen die Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer Gehörschutzmittel tragen. Deshalb kommen auch die verschiedenen Gehörschutzmittel und ihre Anwendung zur Sprache.

Die Betriebe sind bei der Lärmbekämpfung nicht auf sich selbst gestellt: Mit ihrem Programm zur Gehörschadenprophylaxe unterstützt die Suva die Betriebe auf verschiedenen Ebenen und betreut die lärmgefährdeten Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer regelmässig (Gehöruntersuchungen im Audiomobil).

Die Publikation enthält 95 Abbildungen, zahlreiche Tabellen und einen Anhang mit Adressen und Hinweisen auf weiterführende Informationen.

Die Verfasser danken
- den Firmen, die uns bei den Fotoaufnahmen unterstützt oder Fotos zur Verfügung gestellt haben:
  – ANADA AG, Glattbrugg
  – Altas Copco (Schweiz) AG, Studen
  – B&K Messtechnik GmbH, Rümlang
  – Bauwerke AG, St. Margrethen
  – Brauerei Eichhof, Luzern
  – Emch+Berger AG, Bern
  – ETIS AG, Herisau
  – F. Maurer, Schallschutz, Biel
  – Friedrich-Schiller-Universität Jena, DE, Institut für Physiologie I / Neurophysiologie
  – H. Kubny AG, Zürich
  – Husqvarna Schweiz AG, Mägenwil
  – Ingenieurbüro Dollenmeier GmbH, Dielsdorf
  – Li & Co GmbH, Müstair
  – NORSONIC-Brechbühl AG, Grünenmatt
  – Stadler Rail AG, Altenrhein
  – Swiss Quality Paper Horgen Balsthal AG, Balsthal
  – WEZ Kunststoffwerk AG, Oberentfelden
- der Abteilung Arbeitsmedizin der Suva für die Überprüfung der arbeitsmedizinischen Texte.
- allen Kolleginnen und Kollegen der Suva, die zum Erscheinen dieser Publikation beigetragen haben.

Beat Hohmann
Heinz Waldmann

Anhang 1
Weiterführende Informationen

Literatur

Alle wichtigen Suva-Publikationen zum Thema Lärm können im Internet als PDF-Dateien heruntergeladen oder bestellt werden: www.suva.ch/laerm.

Durch Anfügen der Publikationsnummer an www.suva.ch/ gelangt man direkt zur gewünschten Suva-Publikation. Beispiel: www.suva.ch/66076.d führt direkt zur Broschüre «Lärmbekämpfung an Maschinen und Anlagen».

Gesetzestexte

Alle Gesetze und Verordnungen des Bundes sind unter www.admin.ch/ch/d/sr/sr.html in der aktuellsten Version verfügbar.

Normen

Schweizerische Normenvereinigung SNV
www.snv.ch bzw. shop.snv.ch

Internationale Normen auch unter
www.iso.org oder www.beuth.de

Deutsch	Français	Italiano	Publikations-Nr.
Lärmbekämpfung an Maschinen und Anlagen	Lutte contre le bruit des machines et des installations	–	66076
Lärmbekämpfung durch Kapselungen	Des enceintes pour lutter contre le bruit	–	66026
Ultraschallanlagen als Lärmquellen	Bruit des installations à ultrasons	–	66077
Schallemissionsmessungen an Maschinen	Mesurage des émissions acoustiques produites par les machines	–	66027
Industrielle Raumakustik	Acoustique des locaux industriels	Acustica ambientale nell'industria	66008
Der persönliche Gehörschutz	La protection individuelle de l'ouïe	La protezione individuale dell'udito	www.suva.ch/gehoerschutz
Belästigender Lärm am Arbeitsplatz	Nuisances sonores aux postes de travail	–	66058

Tabelle 29 Publikationen der Suva mit vertiefenden Informationen zu verschiedenen Lärmproblemen – von der Quelle bis zum Ohr

Anhang 2
Bezeichnung von Schallmessgrössen

Deutsch	Français	Italiano	English	Zeichen	Kapitel
Schall-Immission Schalleinwirkung an einem Ort oder auf eine Person (Empfänger) bezogen	**Exposition sonore** dans un endroit ou référant à une personne (récepteur)	**Immissione sonora** rumore immesso in ambiente misurato in prossimità dei ricettori	**Sound exposure** sound immission in a specific place or referring to a person (receiver)		
(A-bewerteter) Schalldruckpegel, Schallpegel	niveau de pression acoustique (pondéré A)	livello di pressione sonora (ponderata «A»)	(A-weighted) sound pressure level	L, L_p, L_{pA}	2.6, 2.7, 5.2
maximaler / minimaler Schall-druckpegel (bei Verwendung der Zeitbewertung F)	niveau de pression acoustique maximal / minimal (avec la pondération tempo-relle F)	livello di pressione sonora massimo / minimo (con costante di tempo F)	maximum / minimum sound pressure level (with time-weighting «Fast»)	L_{Fmax} / L_{Fmin}	5.2
(A-bewerteter) äquivalenter Dauerschallpegel, Mittelungspegel	niveau de pression acoustique continu équivalent (pondéré A)	livello continuo equivalente di pressione sonora (ponderata «A»)	equivalent continuous (A-weighted) sound pressure level	L_{eq}, L_{Aeq}	2.8.1
Lärmexpositions-pegel	niveau d'exposition au bruit	livello di esposizione al rumore	noise exposure level	L_{EX}	4.7.1, 6.1
(C-bewerteter) Spitzenschalldruck-pegel	niveau de pression acoustique de crête (pondéré C)	livello di pressione acustica di picco (ponderata «C»)	maximum (C-weighted) peak level	L_{Peak} L_{CPeak}, $L_{Ccrête}$ $L_{crête}$	2.11, 4.7.2, 5.2, 6.2
Schallexpositions-pegel	niveau d'exposition sonore	livello di esposizione sonora	sound exposure level	L_E, SEL	2.8.2, 4.7.2
Schall-Emission auf Schallquelle (Maschine) bezogen, ohne Raumeinfluss	**Emission sonore** référant a une source de bruit (machine), sans l'influence des environs	**Emissione sonora** riferita alla sorgente sonora (macchina), senza l'influsso dell'ambiente	**Sound emission** referring to a sound source/machine, without influence of the ambiance		
(A-bewerteter) Emissions-Schall-druckpegel am Arbeitsplatz	niveau de pression acoustique d'émission au poste de travail (pondéré A)	livello di pressione sonora al posto di lavoro (ponderata «A»)	(A-weighted) emission sound pressure levels at a work station	L_p, L_{pA}	4.5
(A-bewerteter) Schallleistungspegel	niveau de puissance acoustique (pondéré A)	livello di potenza sonora (ponderata «A»)	(A-weighted) sound power level	L_W, L_{WA}	4.5, 5.1, 2.5, 2.9

Tabelle 30 Internationale Bezeichnungen immissions- und emmissionsbezogener Schallmessgrössen

Anhang 3
Physikalische und akustische Grössen und Masseinheiten

Zeichen	Grösse	Einheit	Kapitel
λ	Wellenlänge	m	2.4
c	Schallgeschwindigkeit	m/s	2.4
DL2	Schallpegelabnahme pro Distanzverdopplung	dB	2.12.3, 7.5.2
f	Frequenz	Hz	2.4, 2.10, 3, 5.4
L, L_p	Schalldruckpegel, Schallpegel	dB	2.6, 4.12
L_E	Schallexpositionspegel (sound exposure level)	dB	2.8.2, 4.7.2, 6.2, 9.2.2
L_{eq}	äquivalenter Dauerschalldruckpegel	dB	2.8
L_{EX}	Lärmexpositionspegel	dB	4.7, 4.8, 6, 9.2.2
L_{pA}	Emissions-Schalldruckpegel	dB	4.5, 4.12
L_{Peak}	Schalldruckspitzenpegel	dB	5.2, 6.2, 9.2.2
L_W	Schallleistungspegel	dB	2.9
p	Schalldruck	Pa	2.2, 2.5, 2.6
p_i	Dauer der Arbeitsphase in Prozenten der Arbeitszeit	%	6.1.2
r	Radius	m	2.9
t, t_i	Zeit, Expositionszeit	s	6.1.2
T	Periode	s	2.3
T_m, T_{60}	(mittlere) Nachhallzeit	s	2.12.2, 5.5
T_m	Messzeit	s	2.8
W	Schallleistung	W	2.5, 2.9

Tabelle 31 In dieser Publikation verwendete physikalische und akustische Grössen

Suva
Postfach, 6002 Luzern
Telefon 041 419 58 51
www.suva.ch

Publikationsnummer
44057.d