



Gehörgefährdender Lärm am Arbeitsplatz

suva**Pro**

Sicher arbeiten

Suva
Bereich Physik
Postfach, 6002 Luzern

Für Auskünfte:
Tel. 041 419 51 11
akustik@suva.ch

Für Bestellungen:
www.suva.ch/waswo
Fax 041 419 59 17
Tel. 041 419 58 51

Gehörgefährdender Lärm am Arbeitsplatz

Verfasser:
Dr. Beat Hohmann
Walter Lips
Heinz Waldmann
Bereich Physik

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet.
1. Auflage – Juli 1988
Vollständig überarbeitete Auflage – Oktober 2006
5. Auflage – September 2007 – 37'000 bis 42'000

Bestellnummer: 44057.d

Inhalt

1	Einleitung	3	4	Vorschriften und Grenzwerte	29
			4.1	Übersicht	29
2	Akustische Grundbegriffe	5	4.2	Die Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten	30
2.1	Schallentstehung	5	4.3	EKAS-Richtlinie 6508 über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit	32
2.2	Schalldruck	5	4.3.1	Besondere Gefahren	32
2.3	Frequenz	5	4.3.2	Gefahrenermittlung	33
2.4	Schallwellen und Schallausbreitung	7	4.3.3	Risikoanalyse	33
2.5	Schalleistung	8	4.3.4	Mitwirkung der Arbeitnehmenden	33
2.6	Schalldruckpegel	9	4.4	Gesundheitsvorsorge und Plangenehmigung	33
2.7	Frequenzbewertete Schalldruckpegel	10	4.5	Die Sicherheit von technischen Einrichtungen und Geräten	34
2.8	Zeitlich integrierte Schalldruckpegel	11	4.6	Vorschriften über Aussenlärmimmissionen	34
2.8.1	Äquivalenter Dauerschallpegel	11	4.7	Grenzwerte zum Schutz vor gehörgefährdendem Lärm	35
2.8.2	Schallexpositionspegel L_E	11	4.7.1	Dauerschall	35
2.9	Schalleistungspegel	12	4.7.2	Impulsartiger Schall	35
2.10	Frequenzanalysen	13	4.7.3	Massnahmen zum Schutz des Gehörs	35
2.11	Schallsignale	14	4.8	Richtwerte für belästigenden Lärm am Arbeitsplatz	36
2.11.1	Ton, Klang, Geräusch	14	4.8.1	Tätigkeitsbezogene Richtwerte	36
2.11.2	Dauerlärm, intermittierender Lärm, Impulslärm	15	4.8.2	Richtwerte für Hintergrundgeräusche in Arbeitsräumen	36
2.12	Schallfelder	16	4.9	Weitere Lärmbeurteilungskriterien	36
2.12.1	Freies Schallfeld	16	4.9.1	Ultraschall	36
2.12.2	Diffuses Schallfeld	17	4.9.2	Infraschall	37
2.12.3	Schallfeld in Industrieräumen	17	4.10	Schall- und Laserverordnung	37
3	Das Gehör	19	4.11	SIA-Norm 181, Schallschutz im Hochbau	38
3.1	Das Ohr und der Hörvorgang	19	4.12	Lärmdeklaration nach Maschinenrichtlinie	38
3.2	Schallempfindung	20	4.13	Massnahmen zum Schutz des Gehörs nach der EU-Lärm-Richtlinie	38
3.3	Die audiometrische Prüfung des Gehörs	21	5	Schallmesstechnik	40
3.4	Einfluss des Alters auf das Hörvermögen	22	5.1	Ziel der Lärmmessung	40
3.5	Schädigung des Gehörs durch Lärm	23	5.2	Elemente von Schallmessgeräten	40
3.6	Die Beurteilung des Hörvermögens	26	5.3	Geräte für die Messung und Analyse von Lärm am Arbeitsplatz	43
3.7	Andere Auswirkungen des Lärms	26	5.4	Praktische Hinweise für Schallmessungen	46
3.7.1	Sprachliche Verständigung und Signalwahrnehmung	26	5.5	Lärmmessungen der Suva	48
3.7.2	Lärmbelästigung	27			
3.7.3	Extraaurale Auswirkungen	28			

6	Beurteilung der Lärmbelastung	49	8	Persönliche Gehörschutzmittel	68
6.1	Bestimmung des Lärmexpositionspegels L_{Ex}	49	8.1	Wenn technische Massnahmen nicht genügen	68
6.1.1	Grundlagen	49	8.2	Information und Instruktion	68
6.1.2	Berechnung des Lärmexpositionspegels L_{Ex}	49	8.3	Den optimalen Gehörschutz finden	68
6.1.3	Tagesexpositionspegel und Jahresexpositionspegel	51	8.4	Anwendung im Alltag	70
6.1.4	Praktische Hilfsmittel zur Bestimmung des Lärmexpositionspegels L_{Ex}	51	8.5	Signalwahrnehmung mit Gehörschutz	71
6.1.5	Rechenbeispiele	52	9	Verhütung lärmbedingter Gehörschäden	73
6.2	Beurteilung der Gehörbelastung durch Impulslärm	54	9.1	Der Lärmschutz im betrieblichen Sicherheitssystem	73
6.2.1	Grundlagen	54	9.1.1	Lärmschutzkonzept im Betrieb	73
6.2.2	Ermittlung der Beurteilungsgrössen	54	9.1.2	Verhalten im akustischen Notfall	73
6.2.3	Anwendung der Beurteilungskriterien	55	9.1.3	Vorgehen bei Verdacht auf einen lärmbedingten Gehörschaden	75
6.3	Beurteilung von Arbeitsplätzen	55	9.2	Die Gehörschadenprophylaxe der Suva	75
6.3.1	Risikobeurteilung mit allgemeinen Lärmtabellen	55	9.2.1	Gehöruntersuchungen im Audiomobil	75
6.3.2	Messungen durch den Betrieb	55	9.2.2	Welche Personen werden im Audiomobil untersucht?	76
6.3.3	Messungen durch die Suva in einzelnen Betrieben	56	9.2.3	Organisation und Ablauf der Gehöruntersuchungen	77
6.4	Schallmessprotokoll zu Messungen in einem Betrieb	56	9.2.4	Die Untersuchung im Audiomobil	79
6.5	Allgemeinen Lärmtabellen (ALT)	58	9.3	Anteil der Lärmexponierten in verschiedenen Branchen	79
6.5.1	Tätigkeitsbezogene Lärmexpositionspegel	58	9.4	Entwicklung der beruflichen Lärmbelastung	80
6.5.2	Äquivalente Dauerschallpegel L_{eq}	59	9.5	Erfolgskontrolle der Gehörschadenprophylaxe	80
7	Technische Lärmschutzmassnahmen	60	9.6	Auch Lärm in der Freizeit ist schädlich	81
7.1	Rechtliche Grundlagen	60	10	Zusammenfassung	82
7.2	Grundsätze der Lärmbekämpfung	60	Anhang 1	Weiterführende Informationen	83
7.3	Die Strukturierung der Lärmbekämpfungsmassnahmen	61		Literatur	83
7.4	Lärmquelle: 1. Priorität	61		Gesetzestexte	83
7.4.1	Reduktion der Schallentstehung	61		Normen	83
7.4.2	Reduktion der Schallübertragung	62		Aufsichts- und Vollzugsorgane	83
7.4.3	Reduktion der Schallabstrahlung	62		Private Institutionen	83
7.4.4	Kapselungen	63	Anhang 2	Bezeichnung von Schallmessgrössen	84
7.4.5	Transport und Materialumschlag	63		Internationale Bezeichnungen, Verweise auf grundlegende Normen	84
7.5	Arbeitsraum: 2. Priorität	65	Anhang 3	Physikalische und akustische Grössen und Masseinheiten	86
7.5.1	Räumliche Unterteilung	65			
7.5.2	Bau- und raumakustische Massnahmen	65			
7.6	Reduktion der Schallbelastung: 3. Priorität	67	Sachwortregister	87	
7.6.1	Arbeitsorganisation	67			
7.6.2	Persönliche Schutzausrüstung	67			

1 Einleitung

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

In der Schweiz sind rund 200'000 Personen in zirka 22'000 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 2004 nur noch 9 Prozent. Dies entspricht einem Rückgang um 75 Prozent. Trotzdem ist die Lärmschwerhörigkeit mit fast 700 Fällen unheilbarer Schädigung pro Jahr (2004) immer noch die dritthäufigste Berufskrankheit.

Vor vierzig Jahren wurden in der Schweiz die ersten Lärmgrenzwerte für industrielle Arbeitsplätze eingeführt. 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.



Bild 1: Arbeitsplätze mit hoher Lärmbelastung auf einer Tunnelbaustelle.

Bereits 1976 führte die Suva den 100'000. Gehörttest in einem ihrer Audiomobile durch. Diese Kontrollen haben die Motivation der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer, einen Gehörschutz zu tragen, beträchtlich erhöht. Im Jahr 2005 besuchten die Spezialisten für Audiometrie der Suva 4'000 Unternehmen und überprüften in fünf Audiomobilen das Hörvermögen von über 45'000 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, die nun in der Neuauflage berücksichtigt wurde:

- 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.



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

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 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 unter www.suva.ch/laerm.

Diese Broschüre enthält Grundlagen und Detailinformationen über den Lärm, seine Auswirkungen und die Lärmbekämpfung. Die Inhaltsübersicht und das Sachwortregister am Schluss 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 fließenden 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.

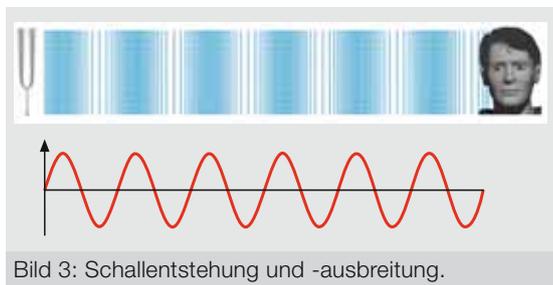


Bild 3: Schallentstehung und -ausbreitung.

2.2 Schalldruck

Druck wird in der Einheit Pascal [Pa] angegeben ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ } \mu\text{bar}$). 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.

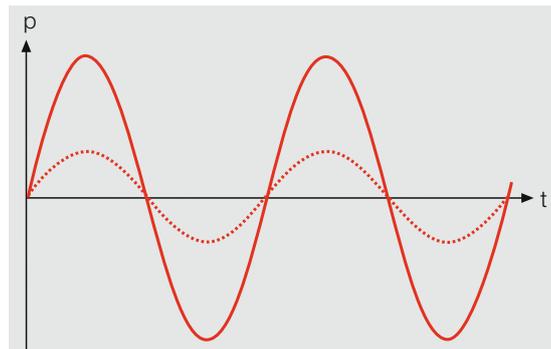


Bild 4: Amplitude: Ton 1 (durchgezogen) ist lauter als Ton 2 (gestrichelt).

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).

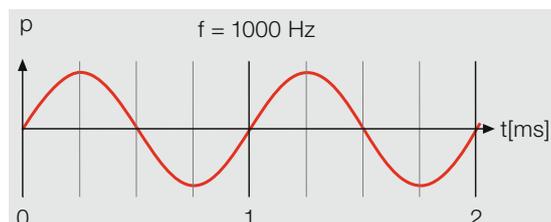


Bild 5: Periode und Frequenz: Schwingung mit Periode 1 ms, das heisst 1000 Schwingungen pro Sekunde = 1000 Hz.

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

f: Frequenz [Hz]

T: Periode [s]

Formel 1

1 kHz = 1'000 Hz = 1'000 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.

Das Bildschirm-Pfeifen eines alten Fernsehgerätes (50 Hz, nicht «100 Hz») liegt bei 15,6 kHz (Zeilenfrequenz).

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 Therapie¹⁾.

¹⁾ Vgl. Suva-Publikation 66077.d «Ultraschallanlagen als Lärmquellen»

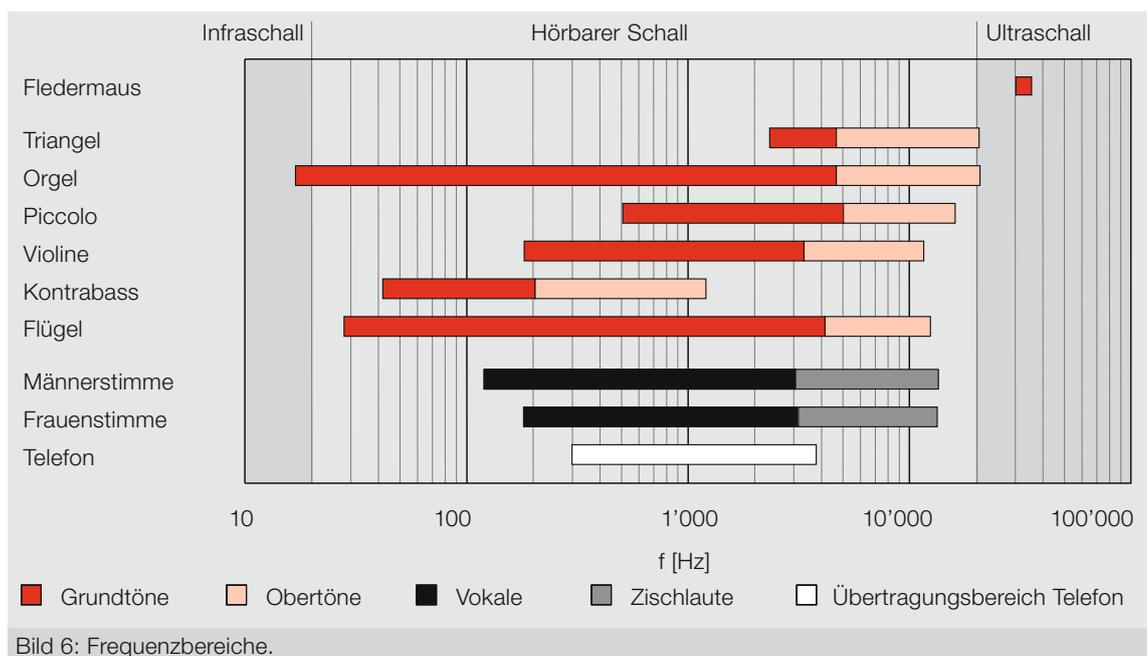


Bild 6: Frequenzbereiche.

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 1'225 km/h.

$$c \approx 340 \text{ m/s}$$

Schallgeschwindigkeit in der Luft

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

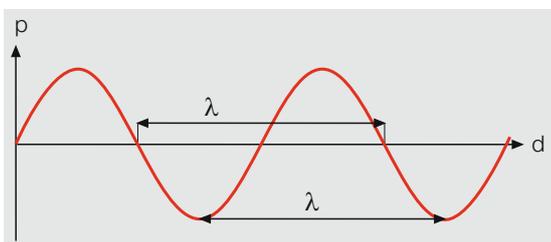


Bild 7: Wellenlänge.

Da sich die Schallwelle mit Schallgeschwindigkeit fortpflanzt, gilt:

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

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 1'000: 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).

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

Tabelle 1: Frequenzen und Wellenlängen.

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.

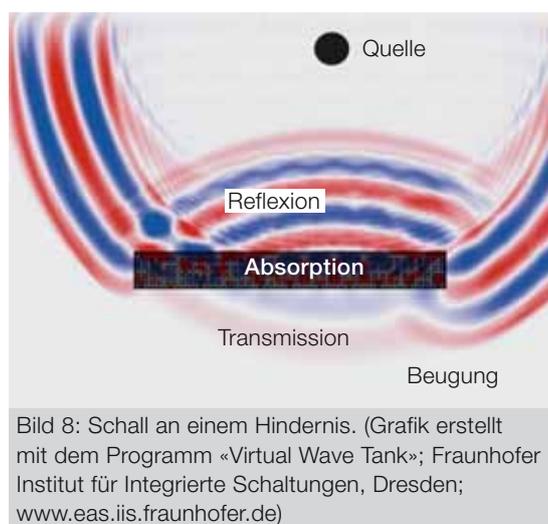


Bild 8: Schall an einem Hindernis. (Grafik erstellt mit dem Programm «Virtual Wave Tank»; Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen, Dresden; www.eas.iis.fraunhofer.de)

2.5 Schalleistung

Die Lärmentwicklung einer Schallquelle wird am besten durch die abgestrahlte **Schalleistung** (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. Andererseits belegen diese Werte, wie empfindlich das Gehör ist.

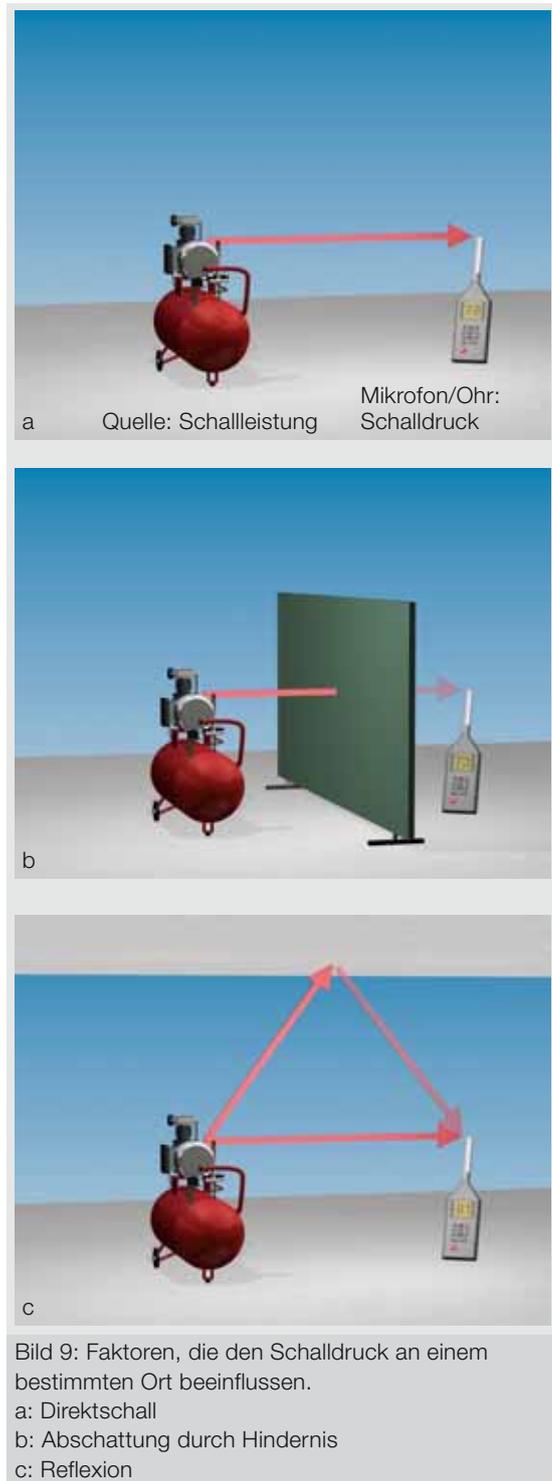
Die von einer Quelle abgegebene **Schallenergie** ergibt sich aus der Multiplikation der mittleren Leistung mit der Dauer der Abstrahlung.

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

Tabelle 2: Schalleistungen.

Ein Messmikrofon wie auch das Ohr reagieren auf den Schalldruck, der damit sowohl direkt messbar als auch für die Schallempfindung entscheidend ist. Der Schalldruck, den man an einem bestimmten Punkt misst, hängt davon ab,

- welche Schalleistung die Quelle abstrahlt (Bild 9a; Schalleistung und Schallenergie verhalten sich proportional zum Quadrat des Schalldrucks. Bei einer Vervielfachung der Schalleistung erhöht sich der Schalldruck auf das Doppelte)
- ob der Schall gleichmässig nach allen Seiten abgestrahlt wird (eine Schallbündelung erhöht bei gleicher Schalleistung den Schalldruck in der Hauptrichtung)



- wie weit die Quelle entfernt ist (im freien Schallfeld 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:

$$20 \mu\text{Pa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} = 0,00002 \text{ Pa}$$

Schalldruck bei der Schmerzschwelle:

$$20 \text{ Pa} = 2 \cdot 10^1 \text{ Pa}$$

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

Durch die Einführung des **Schalldruckpegels** in Dezibel (dB) lässt sich dieser Wertebereich verkürzen. Die Einheit Dezibel (= $\frac{1}{10}$ 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».)

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

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

Formel 5 und 6

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

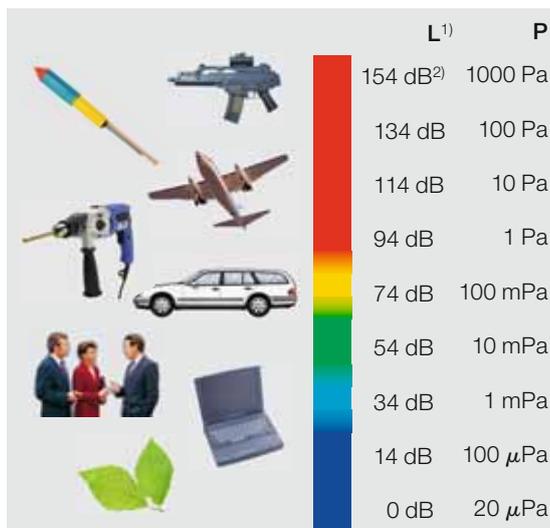


Bild 10: Typische Schalldruckwerte p und Schalldruckpegel L .

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 Schalleistungen. Der Gesamtschallpegel von n Maschinen mit demselben Einzelpegel L_1 ergibt sich aus Formel 7:

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

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	Schallleistung	Schalldruck	Schallpegel
	x 100	x 10	+ 20 dB
	x 10	x 3	+ 10 dB
	x 4	x 2	+ 6 dB
	x 2	x 1,4	+ 3 dB
	x 1	x 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).

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

Formel 8

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

$L_1 - L_2$	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: Pegeladdition.

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 IEC¹⁾ 61672-1. Zur Beurteilung der Gehörgefährdung ist die A-Bewertung am besten geeignet (Bild 11).

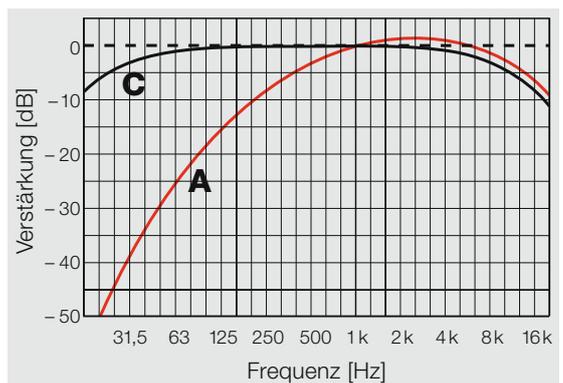


Bild 11: Bewertungsfilter A und C.

¹⁾ IEC = International Electrotechnical Commission

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

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

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

T_m : Messzeit

L_{eq} : äquivalenter Dauerschallpegel

Formel 9

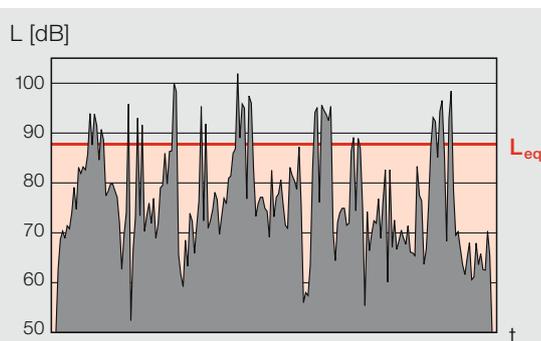


Bild 12: Zeitlicher Verlauf des Schalldruckpegels $L(t)$ und äquivalenter Dauerschallpegel L_{eq} .

2.8.2 Schallexpositionspegel L_E

Der Schallexpositionspegel 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).

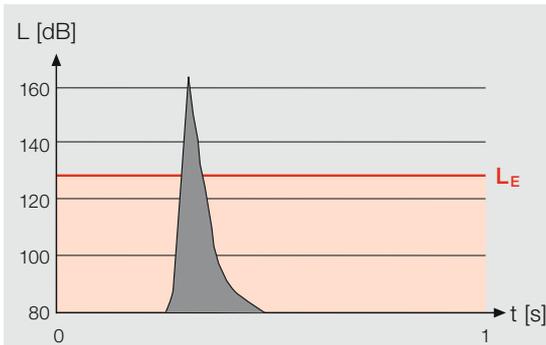


Bild 13: Schallexpositionspegel L_E .

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

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. Somit eignet sich diese Messgrösse vor allem zur Erfassung von Knall- oder anderen Einzelereignissen.

Die Anzahl Impulse (n) geht mit $10 \lg n$ in den L_E ein:

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

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.

Dauerschallpegel L_{eq} und Schallexpositionspegel L_E sind über die Messzeit T_m miteinander verknüpft:

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

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 :

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

Formel 13

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

2.9 Schalleistungspegel

Analog zum Schalldruckpegel kann aus der Schalleistung einer Quelle (siehe Ziffer 2.5) nach ISO 131-1979 ein **Schalleistungspegel** L_W gebildet werden:

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

W : Schalleistung [W]

W_0 : Bezugsschalleistung,

$$W_0 = 1 \text{ pW} = 10^{-12} \text{ W}$$

Formel 14

Tabelle 5 zeigt die Schalleistungen und Schalleistungspegel verschiedener Objekte.

Schallquelle	Schalleistung [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 Schalleistungen und Schalleistungspegel.

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

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

r : Abstand [m]

r_0 : Bezugsdistanz, $r_0 = 1 \text{ m}$

Formel 15

Der Wert von 11 dB ergibt sich daraus, dass eine Kugel mit einem Radius $r = 1 \text{ m}$ eine Oberfläche von $4\pi r^2 = 12,6 \text{ m}^2$ aufweist, auf die sich die Schalleistung der Quelle verteilt. Der Schalldruckpegel auf dieser Oberfläche liegt deshalb um $10 \lg (12,6) \text{ dB} = 11 \text{ dB}$ unter dem Schalleistungspegel.

Wenn die Kugeloberfläche 1 m^2 beträgt, was bei einem Radius von 28 cm der Fall ist, haben Schalldruckpegel und Schalleistungspegel den gleichen Zahlenwert.



Bild 14: Schalleistungspegel und Schalldruckpegel im freien Schallfeld.

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).

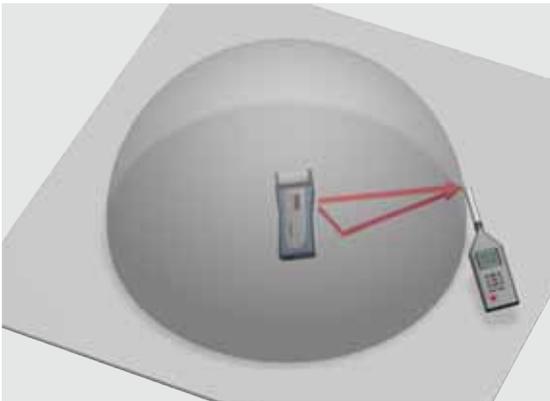


Bild 15: Schallquelle auf einer Fläche, halbkugelförmige Abstrahlung.

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).

Der Schalleistungspegel 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 «Schalleistung und Abnahmemessung» (Bestell-Nr. 66027.d) zu entnehmen.

25	50	100	200	400	800	1'600	3'150	6'300	12'500
31,5	63	125	250	500	1'000	2'000	4'000	8'000	16'000
40	80	160	315	630	1'250	2'500	5'000	10'000	20'000

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

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. Im Gegensatz dazu arbeiten Schmalband- oder Fourier-Analysen mit konstanter Bandbreite.

Für summarische Analysen werden Oktavbänder verwendet, deren Mittenfrequenzen sich gemäss der Norm IEC 225 von 1'000 Hz aus jeweils durch Verdoppelung bzw. Halbierung ergeben: ... 31,5, 63, 125, 250, 500, **1'000**, 2'000, 4'000, 8'000, 16'000 ...

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

Frequenzanalysen 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.

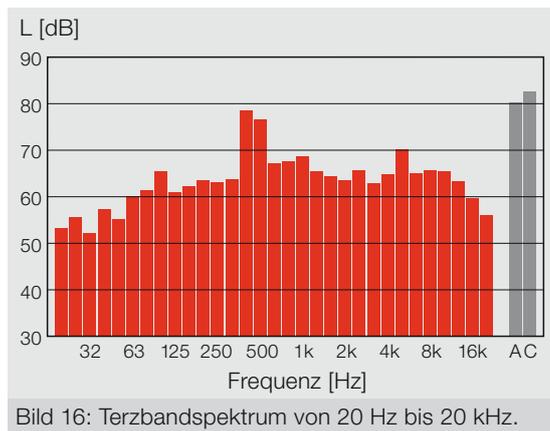


Bild 16: Terzbandspektrum von 20 Hz bis 20 kHz.

2.11 Schallsignale

2.11.1 Ton, Klang, Geräusch

Der Unterschied zwischen Ton, Klang und Geräusch basiert auf dem Frequenzspektrum (Bild 17).



Bild 17: Ton, Klang, Geräusch und Knall.

Ein **reiner Ton** ist eine sinusförmige Schall-schwingung und enthält nur eine Frequenz. Beispiele: Stimmgabelton, Telefonsummtton, 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.

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 (Bild 18).

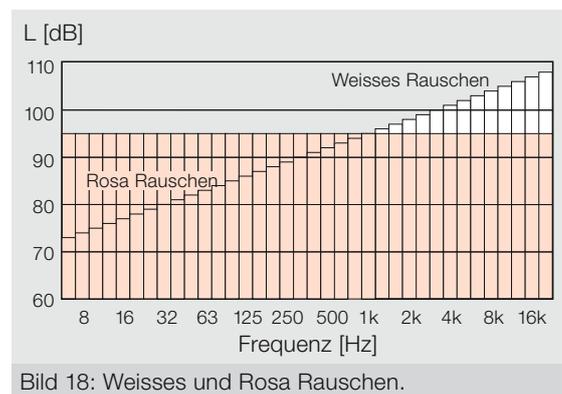


Bild 18: Weisses und Rosa Rauschen.

Aufgrund des Spektrums können breitbandige, tief- und hochfrequente Geräusche unterschieden werden.

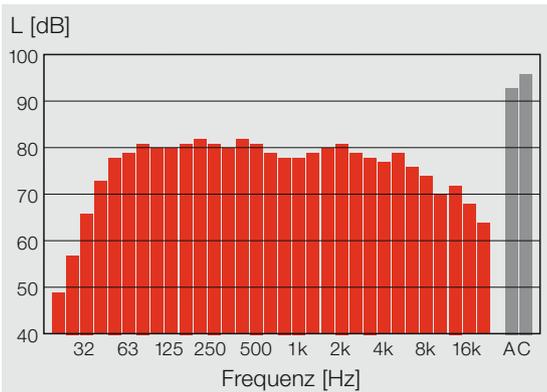


Bild 19: Breitbandiges Geräusch.

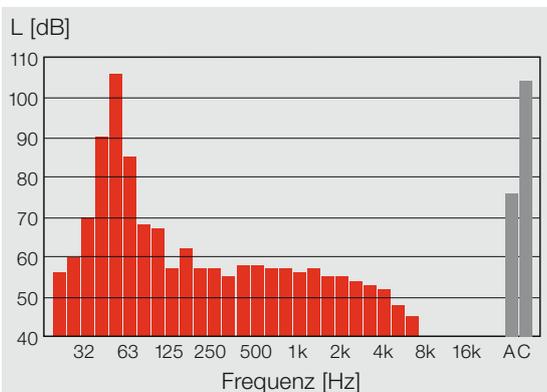


Bild 20: Tieffrequentes Geräusch.

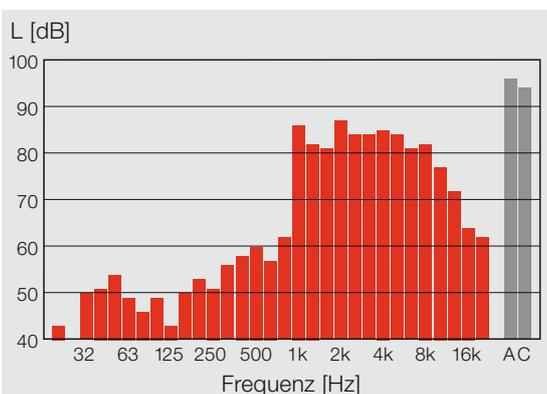


Bild 21: Hochfrequentes Geräusch.

2.11.2 Dauerlärm, intermittierender Lärm, Impulslärm

Der Unterschied zwischen Dauerlärm, intermittierendem Lärm und Impulslärm liegt im zeitlichen Verlauf des Schallsignals.

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

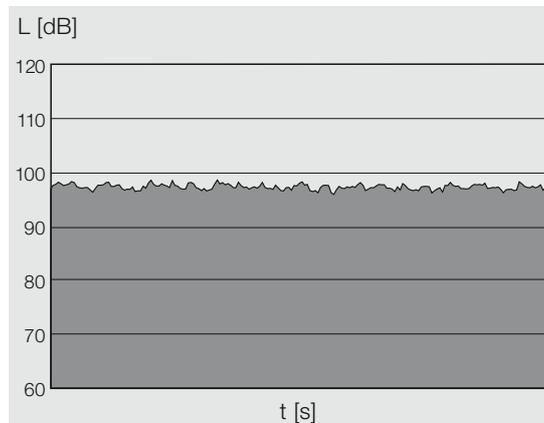


Bild 22: Dauerlärm (Websaal).

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.

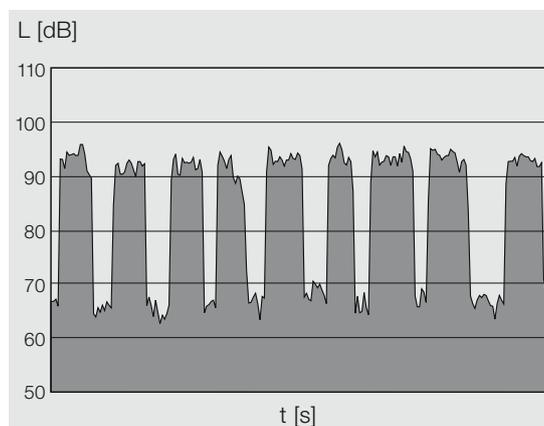


Bild 23: Intermittierender Lärm (Warnsignal).

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

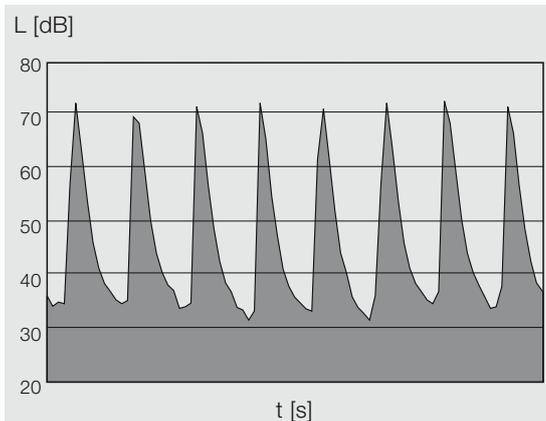


Bild 24: Impuls­lärm.

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



Bild 25: Knall bei der Airbag-Auslösung, Spitzenpegel $L_{\text{peak}} = 160 \text{ dB(C)}$.

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.

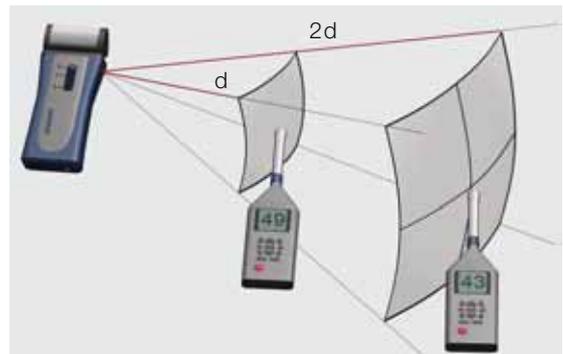


Bild 26: Schalldruckabnahme bei zunehmender Distanz von einer Punktquelle.

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 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 Donnern 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 Schalleistung 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.

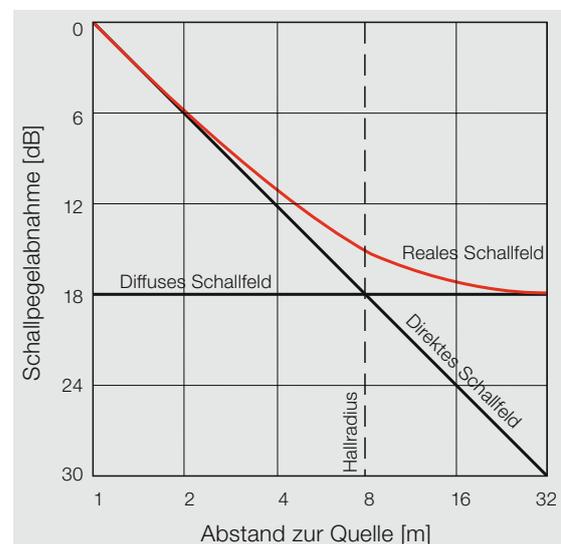


Bild 27: Überlagerung des direkten und des diffusen Schallfelds (Hallradius bei 8 m).

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).

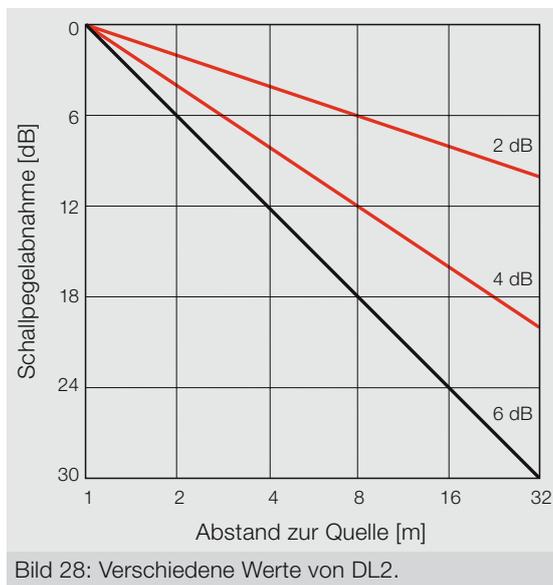


Bild 28: Verschiedene Werte von DL2.

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 Übertragungsarten ergänzen. Schon die Ohrmuschel sammelt und beeinflusst die Schallwellen je nach Einfallrichtung unterschiedlich, bevor sie durch den Gehörgang zum Trommelfell gelangen, wobei die Anteile im Bereich um 3'000 Hz durch die Gehörgangresonanz verstärkt werden. Die Übertragung geschieht hier also 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 (Bild 29).

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.

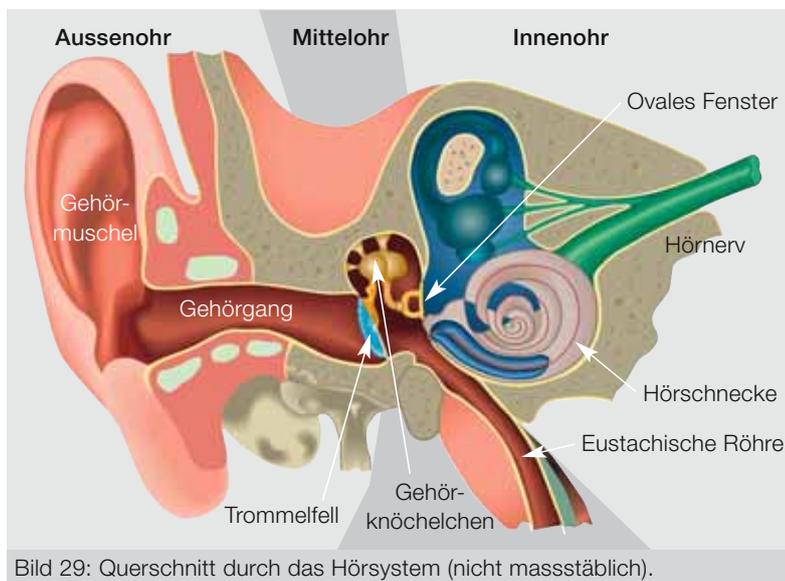


Bild 29: Querschnitt durch das Hörsystem (nicht massstäblich).

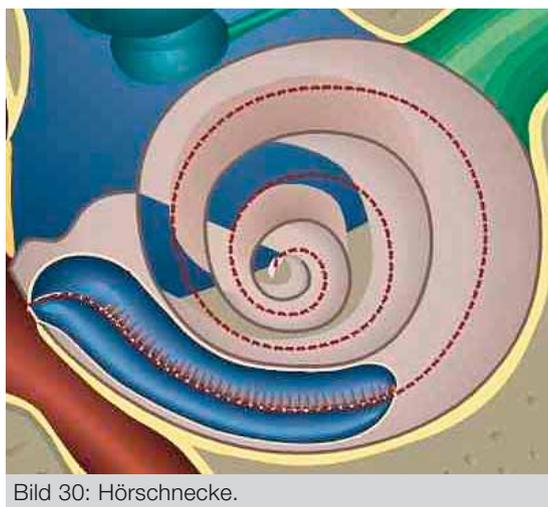


Bild 30: Hörschnecke.

Auf der Basilarmembran nehmen etwa 3'500 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.

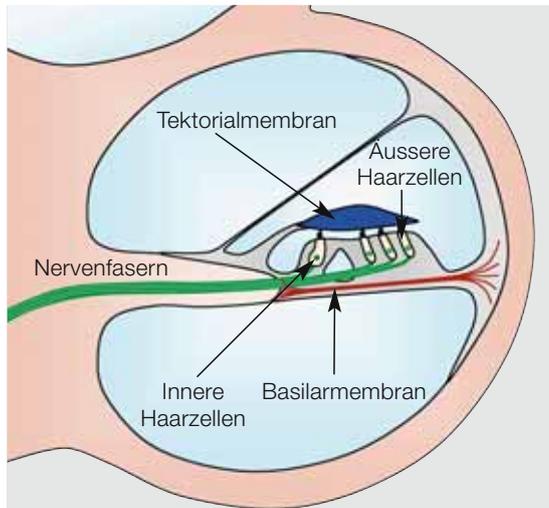


Bild 31: Querschnitt durch die Hörschnecke.

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.

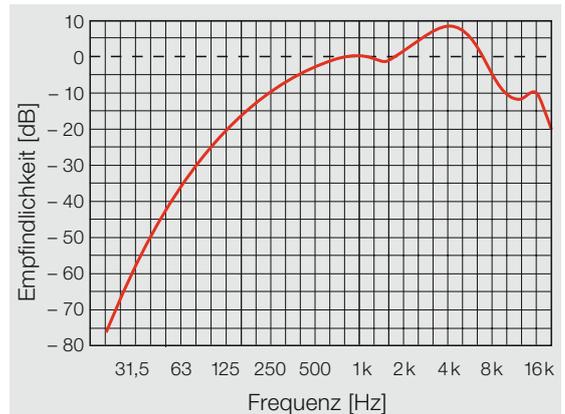


Bild 32: Frequenzgang der Übertragung vom freien Schallfeld über Aussen- und Mittelohr bis ins Innenohr.

Die Knochenleitung, das heisst die Schallübertragung über die Schädelknochen, ist normalerweise um 30 bis 50 dB weniger wirksam als die Luftleitung, wie man durch Verschiessen 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.

In Bild 33 ist die Hörschwelle (rot) 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.

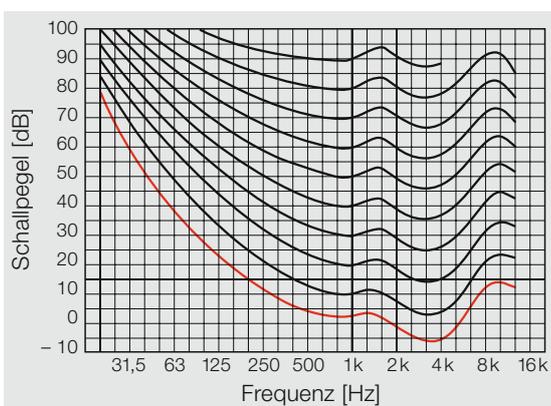


Bild 33: Hörschwelle und Kurven gleicher Lautstärke (Isophonen).

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 Frequenzerlegung 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» (Bestell-Nr. 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 Prüftonepegel 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.



Bild 34: Hörtest (Reintonaudiometrie).

Als Referenz (Nulllinie) gilt die Durchschnittshörschwelle junger Menschen ohne Ohrenkrankungen 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 das Hörvermögen.

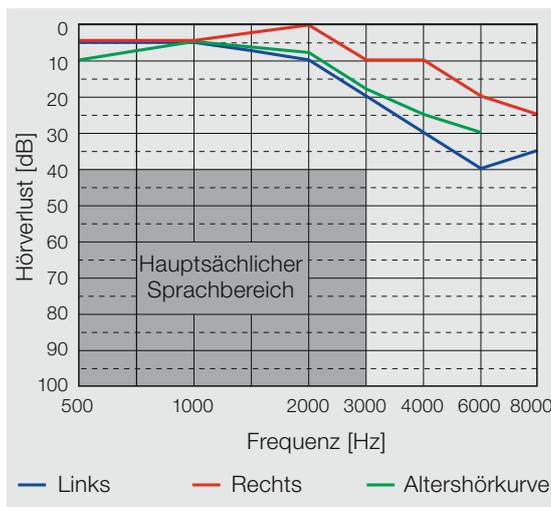


Bild 35: Reintonaudiogramm.

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.

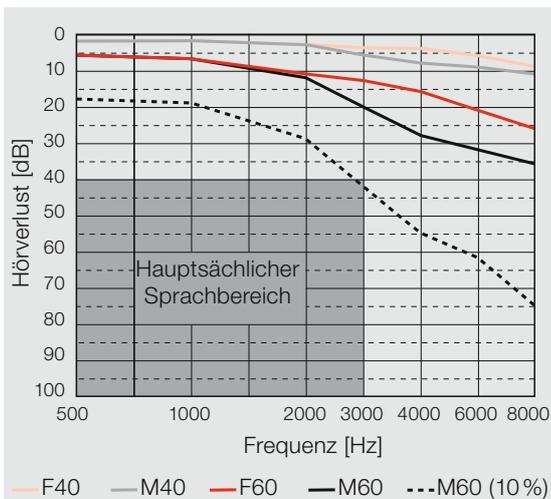


Bild 36: Mittlere Altershörverlustkurven für Frauen (F) und Männer (M) bei 40 und 60 Lebensjahren und 10%-Perzentil-Kurve für Männer von 60 Jahren nach ISO 7029.

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 Hörverlust²⁾ ist die Folge.

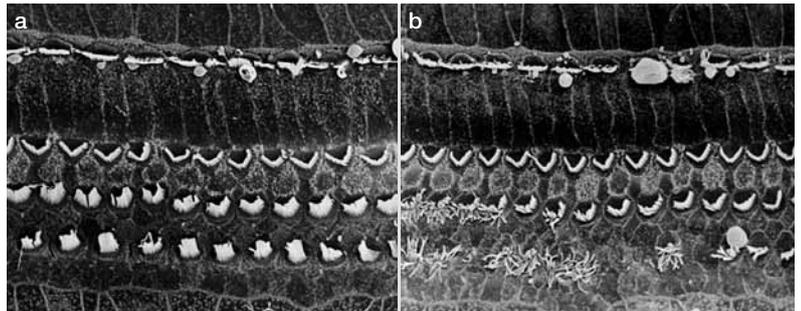


Bild 37: a: Innere (oben, eine Reihe) und äussere Haarzellen (unten, drei Reihen). b: Nach extremen Überlastungen (im Tierversuch) zeigen sich schwere Schäden und sogar Lücken.

3.5 Schädigung des Gehörs durch Lärm

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

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 Hörschwellenverschiebung¹⁾). 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.

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.

¹⁾ T.T.S. = temporary threshold shift.

²⁾ P.T.S. = permanent threshold shift.

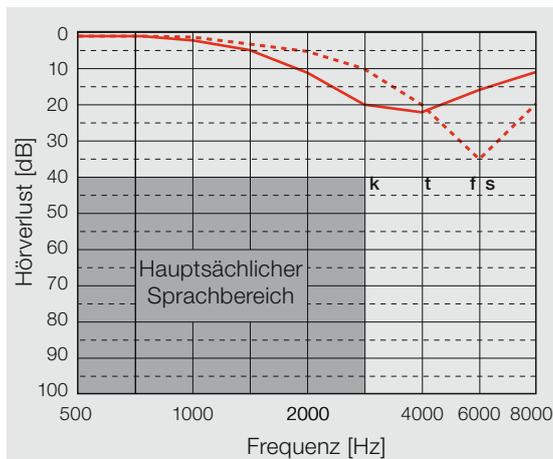


Bild 38: Typische Schädigung durch Dauer- (—) bzw. Impulslärm (- -) mit betroffenen Konsonanten.

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).

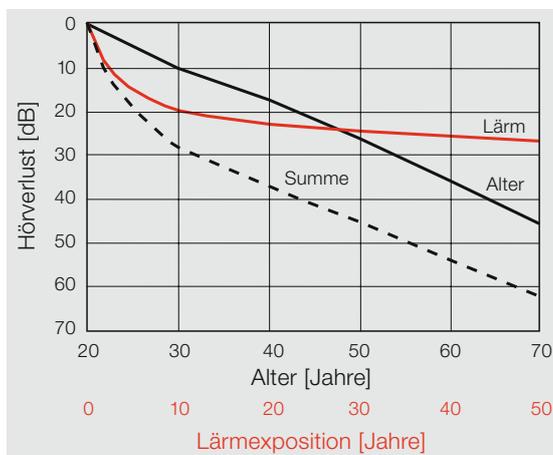


Bild 39: Entwicklung des lärm- und altersbedingten Hörverlusts bei 4 kHz bei Männern mit einer Lärmbelastung von 95 dB(A) (nach ISO 1999-1990).

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%) auswirken, zeigen die Demonstrationen auf der CD «AUDIO DEMO 3» der Suva (Bestell-Nr. 99051.d).

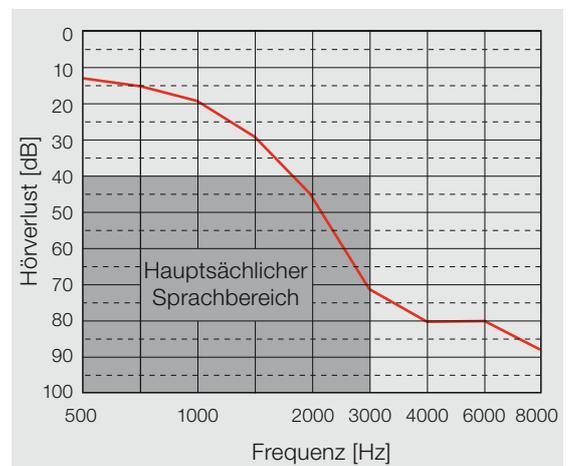


Bild 40: Hörkurve einer Person mit lärm- und altersbedingter Schwerhörigkeit.

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 BGIA).

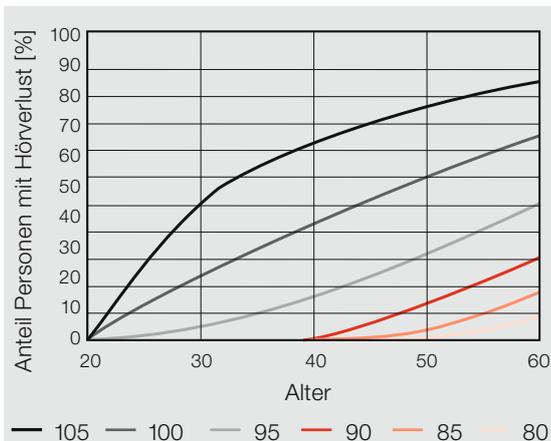


Bild 41: Anteil der Männer, die bei 3 kHz einen Hörverlust von mehr als 40 dB erleiden, in Funktion des Lärmexpositionspegels und der Zeit (Beginn der Lärmarbeit mit 20 Jahren).

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 Höreinkünfte.

Für das Risiko eines lärmbedingten Hörverlusts spielt nicht nur die berufliche Lärmbelastung eine Rolle, sondern 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 ¹⁾.

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 ²⁾ 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 am besten geeignete 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.

¹⁾ Wie sich Hörschäden durch Musik vermeiden lassen, steht in der ebenfalls von der Suva herausgegebenen Publikation «Musik und Gehörschäden» (Bestell-Nr. 84001.d).

²⁾ 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) 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-AMA¹⁾ (Details dazu in «Bewertung des Hörverlusts», Bestell-Nr. 86072.d) 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 Anhaltswerte²⁾:

- 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.

¹⁾ Council on Physical Therapy – American Medical Association.

²⁾ Bei einseitiger Höreinbusse gelten andere Kriterien.

- Geräusche, die eine Gefahr ankündigen (Lärm von Fahrzeugen usw.), werden nicht rechtzeitig wahrgenommen.
- Damit akustische Alarmsignale auch im Lärm sicher wahrgenommen werden, sind aufwändige Warnsysteme notwendig.

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 (Empfängers) 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.

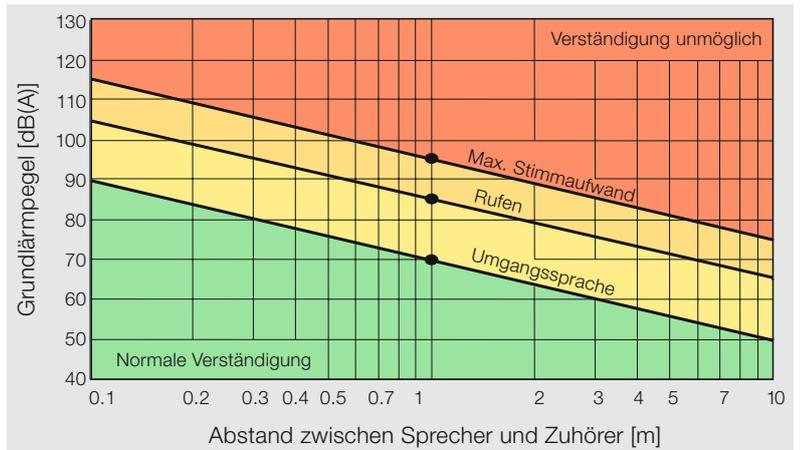


Bild 42: Sprachliche Verständigung in Umgebungslärm. Beispiel: Bei einem Umgebungsgeräusch von 100 dB(A) können sich zwei Personen, die mehr als 1,5 m voneinander entfernt sind, sprachlich nicht mehr verständigen, weil der Sprechende auch bei grossem Stimmaufwand das Umgebungsgeräusch nicht zu übertönen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

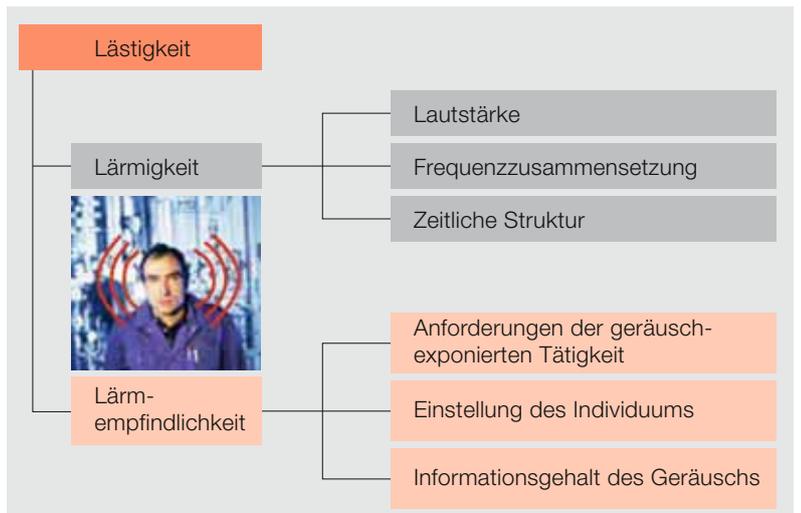


Bild 43: Faktoren, die die Lästigkeit von Lärm beeinflussen.

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.

X Grenzwerte vorhanden
 (X) Grenzwerte teilweise vorhanden
 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 Lärmschutz-Verordnung
 MRL Maschinenrichtlinie der Europäischen Union
 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
 STEG Bundesgesetz über die Sicherheit von technischen Einrichtungen und Geräten
 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
 Die aktuellen Fassungen dieser Regelwerke finden Sie im Internet (Adresse siehe Anhang 1).

Gesetze	UVG	ArG	STEG	USG
Anwendungsbereich	Arbeitsplatz Gehörgefährdung	Arbeitsplatz Lärmbelästigung	Handel mit Geräten	Umwelt
Verordnungen	UVV, VUV	ArGV 3, ArGV 4	STEV	LSV, SLV
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

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

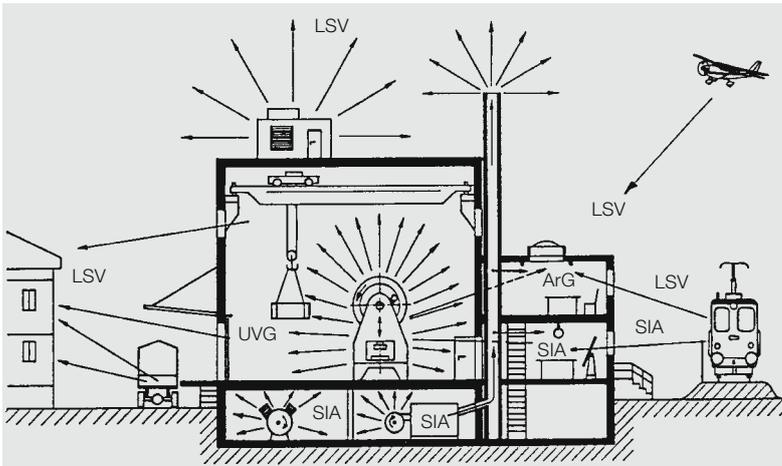


Bild 44: Rechtliche Grundlagen für die Bekämpfung der verschiedenen Lärmarten.

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. 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

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.

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.

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 3.6 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:

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:

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.

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.

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.

Artikel 7: Übertragung von Aufgaben an Arbeitnehmer

- ¹ Hat der Arbeitgeber einen Arbeitnehmer mit bestimmten Aufgaben der Arbeitssicherheit betraut, so muss er ihn in zweckmässiger 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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 85 UVG ist die Suva befugt, den Arbeitgebern Einzelmassnahmen zur Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten vorzuschreiben.

Die Artikel 70 bis 82 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 Lärmtabellen der Suva (siehe Ziffer 6.5) eine wichtige Beurteilungshilfe dar. Allerdings lassen sich nicht alle betrieblichen Lärmverhältnisse mit diesen Lärmtabellen 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 gehörggefährdenden Lärm am Arbeitsplatz (Artikel 22, Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz, ArGV 3). Dieses Thema und die entsprechenden raum- und tätigkeitsbezogenen Richtwerte sind in der neuen 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 bauliche Massnahmen, beispielsweise die Trennung von lärmigen und ruhigen Arbeitsbereichen oder der Einbau von schallschluckenden Bauteilen (z. B. Akustikdecken).

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 Nacharbeit 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 Die Sicherheit von technischen Einrichtungen und Geräten

Das Bundesgesetz über die Sicherheit von technischen Einrichtungen und Geräten (STEG) ist anwendbar auf das Anpreisen und Inverkehrbringen technischer Einrichtungen und Geräte. Artikel 3 enthält die Sicherheitsanforderungen:

Grundsatz

Technische Einrichtungen und Geräte müssen hinsichtlich Sicherheit den anerkannten Regeln der Technik entsprechen und so beschaffen sein, dass bei ihrer bestimmungsgemässen Verwendung und bei Beachtung der gebotenen Sorgfalt Leben und Gesundheit nicht gefährdet werden.

Für den Vollzug des STEG sind verschiedene Stellen zuständig. Die Suva führt das Sekretariat der Koordinationsstelle.

Kauf und Verkauf einer Ware oder Dienstleistung sind im Obligationenrecht geregelt. Konkrete Bedingungen – auch solche, welche die Arbeitssicherheit betreffen, zum Beispiel die maximal zulässigen Lärmemissionswerte – können somit in Kaufverträgen vereinbart werden. Vorschläge zur Formulierung von Grenzwerten (z. B. L_{WA} , L_{pA}) sind in der Suva-Publikation 66027.d «Schallleistung und Abnahmemessungen» 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

4.7.1 Dauerschall

Die Suva beurteilt die gehörgefährdende Wirkung des Lärms am Arbeitsplatz nach ISO 1999 und leitet daraus die erforderlichen Massnahmen ab.

Wenn an einzelnen Tagen Lärmexpositionspegel L_{EX} von 85 dB(A) erreicht oder überschritten werden, sind Massnahmen M1 (siehe Ziffer 4.7.3) zum Schutz des Personals zu treffen.

Werden Lärmexpositionspegel L_{EX} von 85 dB(A) bezogen auf ein Jahr erreicht oder überschritten, sind verschärfte Massnahmen M2 zu treffen. Die betroffenen Arbeitnehmenden sind zur Gehöruntersuchung im Audiomobil berechtigt.

Bei Lärmexpositionspegeln L_{EX} von 88 dB(A) und mehr bezogen auf ein Jahr sind die betroffenen Arbeitnehmenden zur Teilnahme an den Gehöruntersuchungen im Audiomobil verpflichtet.

4.7.2 Impulsartiger Schall

Überschreitet der Schalldruckspitzenpegel (Peak) 135 dB(C), so ist eine Risikobeurteilung basierend auf dem über eine Stunde aufsummierten Schallexpositionspegel L_E in dB(A) vorzunehmen.

Wenn der Schallexpositionspegel L_E 120 dB(A) nicht erreicht wird, sind Massnahmen M1 (siehe Ziffer 4.7.3) zum Schutz des Personals zu treffen.

Wird ein Schallexpositionspegel L_E von 120 bis 125 dB(A) erreicht, sind verschärfte Massnahmen M2 zu treffen. Die betroffenen Arbeitnehmenden sind zur Gehöruntersuchung im Audiomobil berechtigt.

Bei einem Schallexpositionspegel L_E von 125 dB(A) oder mehr sind die betroffenen Arbeitnehmenden zur Teilnahme an den Gehöruntersuchungen im Audiomobil verpflichtet.

4.7.3 Massnahmen zum Schutz des Gehörs

Nachfolgend sind die einzelnen Massnahmen aufgelistet, die aufgrund der Lärmbelastung am Arbeitsplatz zu treffen sind.

Massnahmen M1:

- Lärmschutzkonzept erstellen, Möglichkeiten zur Lärmbekämpfung 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 in dieser Tätigkeit

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

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.

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 (Frequenzbereich 20 kHz bis 100 kHz) verursacht nach dem heutigen Stand des Wissens keine Schädigung, wenn der Maximalpegel unter 140 dB und der Mittelungspegel, bezogen auf 8 Stunden pro Tag, unter 110 dB liegt.

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
Normalanforderung:	Richtwerte, die in der Regel im überwiegenden Teil der Anwendungsfälle einzuhalten sind.	
Erhöhte Anforderung:	Richtwerte für Lärminderungsziele. Gleichzeitig sind sie als Richtwerte bei erhöhten Ansprüchen an die Arbeitsleistung, die Arbeitsqualität und bei besonderer Konzentration usw. zu betrachten.	
Tabelle 9: Tätigkeitsbezogene Richtwerte für belästigenden Lärm am Arbeitsplatz gemäss Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz.		

4.9.2 Infraschall

Infraschall (Frequenzbereich 2 Hz bis 20 Hz) verursacht nach dem heutigen Stand des Wissens keine Schädigung, wenn der Mittelungspegel, bezogen auf 8 Stunden pro Tag, unter 135 dB und der Maximalpegel unter 150 dB liegt. Störungen des Wohlbefindens können auftreten, wenn der Mittelungspegel 120 dB übersteigt.

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. Die Grenzwerte lagen bisher bei 93 dB(A) oder – mit Bewilligung der zuständigen Behörde – bei 100 dB(A).

In der revidierten Fassung, die ab 2007 gilt, wird die Bewilligungspflicht durch eine Meldepflicht des Veranstalters ersetzt. 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.

Raum	Lärmexpositionspegel L_{EX} in dB(A)	
	Normalanforderung	Erhöhte Anforderung
Kleinbüro (bis 3 Personen)	40	35
Mittleres Büro	40	35
Sitzungs- und Konferenzzimmer	40	35
Grossraumbüro	45	40
Büro mit mehreren Büromaschinen	45	40
EDV-Maschinenraum	50	45
Werkstattbüro	60	55
Kommandoraum	60	55
Steuerkabine	70	65
Labor	50	45
Pausen- und Bereitschaftsräume	60	55
Liege-, Ruhe- und Sanitätsräume	40	35
Kantine	55	50
Operationssaal	40	35
Unterrichtsräume	40	35
Dienstwohnung (nachts)	35	30

Tabelle 10: Richtwerte für Hintergrundgeräusche.

Die Schall- und Laserverordnung regelt nur den Schutz der Besucher der Veranstaltung. Je nach Situation kann der Schutz der Anwohner vor Lärmbelastigungen 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.

Ergänzende Informationen finden Sie unter www.suva.ch/laerm.

4.11 SIA-Norm 181, Schallschutz im Hochbau

Die SIA-Norm 181 «Schallschutz im Hochbau» ist im Jahr 2006 in einer vollständig überarbeiteten Neufassung (Ersatz für Ausgabe 1988) erschienen. In dieser Norm werden bauakustische Anforderungen an Gebäudeteile formuliert (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 Beurteilungsmethoden gelegt. Als Neuerung hat auch die Raumakustik für Unterrichts- und Sporthallen Eingang in die Norm gefunden.

4.12 Lärmdeklaration nach Maschinenrichtlinie

Zum Abbau der Handelshemmnisse im europäischen Wirtschaftsraum erlässt der Rat der Europäischen Gemeinschaft entsprechende 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 98/37/EG (vom 22. Juni 1998) beziehungsweise 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 Lärminderung zu berücksichtigen. Die Lärmbekämpfung muss in erster Linie an der Quelle erfolgen.

Deklarationspflicht bei technischen Einrichtungen und Geräten

Der Maschinenlieferant muss an der Maschine bzw. in der Betriebsanleitung die Schallemissionswerte deklarieren (98/37/EG, Ziffer 1.7.3, Absatz f beziehungsweise 2006/42/EG, Ziffer 1.7.4.2, Absatz u). Welche Schallemissionswerte anzugeben sind, ist in Tabelle 11 dargestellt.

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

Überschreitet der Höchstwert des momentanen C-bewerteten Schalldruckpegels am Arbeitsplatz 130 dB, 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.

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 (falls erforderlich mit einer Übergangsfrist bis zum 15. Februar 2011).

Die Auslösewerte und Expositionsgrenzwerte der EU-Lärm-Richtlinie sind in Tabelle 12 gegenübergestellt. Dabei wird im Normalfall vom Tages-Expositionspegel ($L_{EX,8h}$) 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.

L_{pA}^1	L_{pA}^2	Anzugebender Emissionswert
≤ 70 dB(A)	≤ 70 dB(A)	Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz: $L_{pA} < 70$ dB oder $L_{pA} = \dots$ dB
> 70 dB(A)	> 70 dB(A)	Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz: $L_{pA} = \dots$ dB
> 85 dB(A)	> 80 dB(A)	Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz: $L_{pA} = \dots$ dB Schalleistungspegel: $L_{WA} = \dots$ dB

Tabelle 11: Lärmdeklaration gemäss Maschinenrichtlinie.

¹ nach Maschinenrichtlinie 98/37/EG (vom 22. Juni 1998)

² nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (gültig ab 29. Dezember 2009)

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.

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-Tragepflicht		x
Lärminderungsprogramm		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.

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.

5 Schallmesstechnik

5.1 Ziel der Lärmmessung

Lärmmessungen haben zum Ziel, eine Lärm-situation 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 Lärmbelastung, nämlich der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{eq} .



Bild 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 $\frac{1}{2}$ 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.

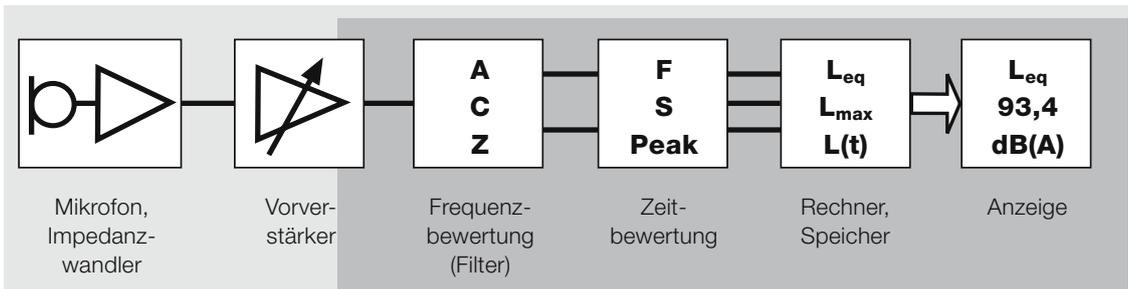


Bild 46: Aufbau eines integrierenden Schallpegelmessers (stark vereinfacht). In neueren Geräten werden verschiedene Frequenz- und Zeitbewertungen oft simultan eingesetzt. Die grau hinterlegten Funktionen sind heute meist in digitaler Technik realisiert.

Durchmesser		1/2 Zoll	1/2 Zoll	1/4 Zoll	1/4 Zoll	1/8 Zoll
Entzerrung (Freifeld, Druck/diffus)		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 12500 (Klasse 1) bzw. 8000 Hz (Klasse 2) gefordert!

f [Hz]	31,5	63	125	250	500	1'000	2'000	4'000	8'000	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.

Die **Bewertungsfiler** 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 oder tieffrequentem Lärm 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 $L = x \text{ dB(A)}$ oder $L_A = x \text{ dB}$.

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	Effektivwert / Peak	10–50 μ s	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.

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 Anzeige 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, vielmehr dessen Maximum und Minimum.

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.

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).

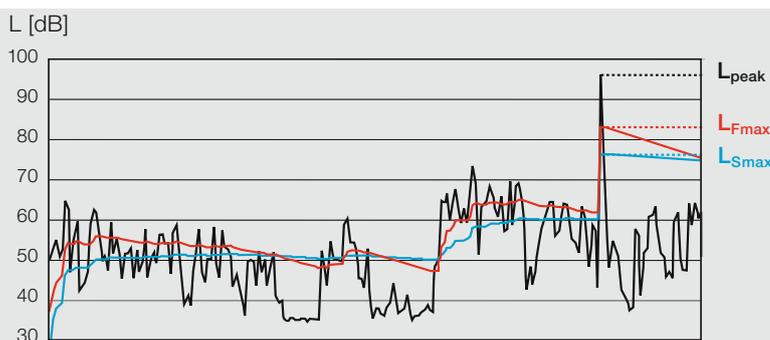


Bild 47: Spitzenwert «Peak» sowie Effektivwerte «Fast» und «Slow» eines Schallsignals.

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

Der **Rechner** ermittelt und speichert alle Messwerte und 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

Das wichtigste Gerät für allgemeine Lärm-messungen ist der **Schallpegelmesser**. Einfache Modelle (Bild 48) sind schon ab 50 Franken (!) erhältlich; sie genügen aber den Normen¹⁾ nicht und dürfen nur für orientierende Messungen eingesetzt werden. Die Preise für einfache professionelle Geräte (Klasse 2 nach EN 61672) liegen in der Grössenordnung von 1'000 Franken und für integrierende Modelle um 2'000 Franken, während Präzisionsgeräte (Klasse 1) mit vielseitiger Datenerfassung und Schnittstellen bis zu 10'000 Franken kosten. Eine aktuelle Liste der Lieferanten von Schallmessgeräten ist auf der Homepage der Suva unter www.suva.ch/laerm zu finden.



Bild 48: Preisgünstige Schallpegelmesser.



Bild 49: Preisgünstiger integrierender Schallpegelmesser.

Ideal für Lärm-messungen am Arbeitsplatz sind **integrierende Schallpegelmesser**. Es gibt auch preisgünstigere Modelle (Bild 49), die nicht über eine internationale Homologierung verfügen, aber erfahrungsgemäss doch gute Resultate liefern.

Professionelle integrierende Schallpegelmesser (Bild 50) erfassen gleichzeitig den Spitzenpegel, den Maximalpegel «Fast» und den L_{eq} , dies oft parallel mit verschiedenen Frequenzbewertungen (A und C oder linear) oder gar mit einer Frequenzanalyse.



Bild 50: Integrierende Präzisionsschallpegelmesser mit Frequenzanalyse.

Lärmdosimeter sind integrierende Schallpegelmesser im Taschenformat mit vielfältiger Datenspeicherung (z. B. L_{eq} pro Minute), deren Mikrofon über ein flexibles Kabel vom Gerät abgesetzt und auf der Schulter oder am Helm des Trägers befestigt werden kann (Bild 51). Sie eignen sich besonders zum Erfassen der Lärmeinwirkungen an mobilen Arbeitsplätzen und für Langzeitmessungen. Sie sollten den Anforderungen der Norm EN 61252 entsprechen.

Neuere Modelle erfassen in einem einzigen Messbereich Pegel von zirka 40 bis über 140 dB. Oft registrieren sie zusätzlich, wie lange und wie häufig ein vorgegebener Pegel überschritten wurde und ob und wie lange das Gerät während der Messung übersteuert war.



Bild 51: Lärmdosimeter und integrierender Schallpegelmesser.

Parallelanalysatoren werten das Schallsignal gleichzeitig in den verschiedenen Oktav- oder Terzbändern aus (siehe Ziffer 2.10). Sie zeigen den Momentanpegel, den Maximalpegel und den Mittelungspegel je Frequenzband an und können diese Spektren intern speichern. Meist sind sie auch in der Lage, Differenzspektren zu bilden. Dargestellt wird die Frequenzanalyse auf einer eingebauten Flüssigkristallanzeige oder einem externen Bildschirm (Bild 52).

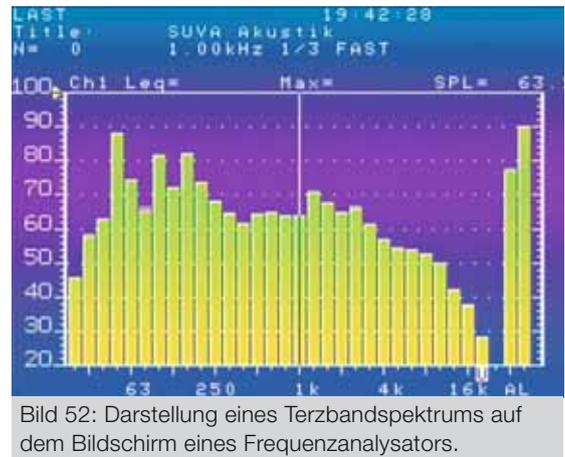


Bild 52: Darstellung eines Terzbandspektrums auf dem Bildschirm eines Frequenzanalyzers.

Diese Geräte verfügen über Digitalschnittstellen und erlauben es, die Resultate für die Weiterverarbeitung auf einen PC zu übertragen.

Eine Oktav- oder Terzanalyse ist zunehmend – mindestens als Option gegen Aufpreis – in hochwertigen Schallpegelmessern eingebaut (Bild 50).

Schmalbandanalysatoren stellen das Spektrum auf einer linearen Frequenzskala mit konstanter Bandbreite dar und werden vor allem in der technischen Lärmbekämpfung eingesetzt, um Zusammenhänge zwischen (mechanischen oder elektrischen) Vorgängen in der Maschine und der Schallabstrahlung zu erkennen.

Eichschallquellen (Pistonphon, Kalibrator) werden auf das Mikrofon aufgesteckt und erzeugen einen definierten Schalldruck. Die Empfindlichkeit und Funktion des Schallpegelmessers oder der ganzen Messkette kann so kontrolliert und nötigenfalls justiert werden. Heute ist allerdings die Pegelkonstanz hochwertiger Schallpegelmesser praktisch ebenso gut wie diejenige der bisherigen Kalibratoren. Geregelte Kalibratoren mit eingebautem Referenzmikrofon hingegen sind stabiler. Eichschallquellen mit 1-kHz-Signal erfordern auch bei eingeschaltetem Bewertungsfilter keine Pegelkorrektur (siehe Tabelle 15).

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 eingesetzt. Heute wird diese Funktion aber meist direkt vom Schallpegelmesser oder von einem Auswertungsprogramm auf PC wahrgenommen (Bild 53).

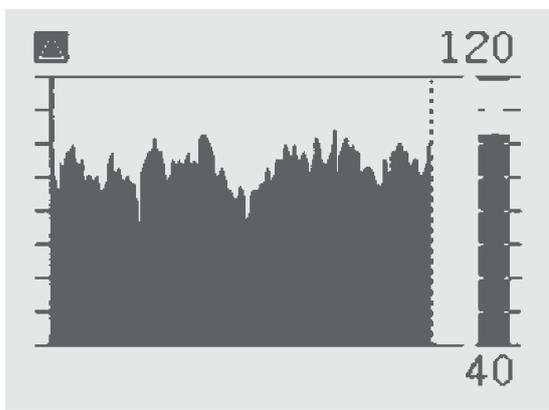


Bild 53: Pegel-Zeit-Anzeige eines Schallpegelmessers (horizontal: Zeit, vertikal: Pegel).

Zum Speichern von Schallsignalen eignen sich tragbare digitale **Aufzeichnungsgeräte** mit Harddisk oder Speicherkarten wie bei digitalen Fotokameras (Compact Flash usw.) (Bild 54) oder auch auf Minidisc. Prinzipiell bietet diese Aufzeichnungsart einen «linealgeraden» Frequenzgang bis 20 kHz (bei 48 kHz Abtastfrequenz), einen grossen Störabstand (z. B. 85 dB bei 16 Bit Auflösung) und je nach Speicherkapazität lange Aufzeichnungsdauer. Die Wiedergabequalität ist im Wesentlichen durch den Aufzeichnungsstandard gegeben. Bei sorgfältigem Umgang können sich auch nichtprofessionelle Geräte im Einsatz bewähren. Für die Auswertung wird die Datei auf einen PC oder Analysator transferiert.

Versuche haben gezeigt, dass eine sanfte Datenreduktion wie bei Minidisc-Geräten (Atrac) die Messergebnisse nicht verfälscht, auch nicht beim Spitzenwert, da nur die «unhörbaren» Signale mit niedrigen Pegeln unterdrückt werden. Aufzeichnungen mit stärkerer Datenreduktion, zum Beispiel im

MP3-Format, sollten nur für die Dokumentation oder Identifikation von Schallsignalen angewendet werden, aber keinesfalls für nachträgliche Analysen.



Bild 54: 2-kanaliger Digitalrekorder mit CF-Speicherkarte (Wave, bis 24 Bit / 96 kHz).



Bild 55: 4-kanaliger Digitalrekorder mit Harddisk.

Integrierte Tonaufzeichnung

Im Hinblick auf die Identifikation von Schalleignissen, 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 unkomprimiert (wav, PCM) oder mit Datenreduktion (im Format mp3, wma usw.) auf einer eingebauten Speicherkarte. Die Daten können zum Beispiel via USB ausgelesen werden.

Harddisk-Recording-Systeme auf PC-Basis können beliebige Ausschnitte eliminieren, wiederholen oder verändern und eignen sich damit für spezielle Analysen. Die Darstellung des Signalverlaufs auf dem Bildschirm – ähnlich einem Oszilloskop – unterstützt die Auswertung (Bild 56).



Bild 56: Bildschirmdarstellung eines Harddisk-Recording-Systems.

Fortgeschrittene Wandler erlauben die Digitalisierung mit 96 kHz und 24 Bit und somit einen Frequenzgang bis über 40 kHz und einen Störabstand von bis zu 115 dB. In CD-Qualität (44 kHz, 16 Bit) sind pro Minute und pro Kanal rund 5 Megabyte Speicherplatz erforderlich, in höherer Qualität (z. B. 96 kHz, 24 Bit) entsprechend mehr.

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.

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

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

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 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 Brummtönen (Reinton) kann sogar auf dessen ungefähre Frequenz geschlossen werden (siehe Bild 11 unter Ziffer 2.7 und Tabelle 18).

Falls kein integrierender Schallpegelmessgerät 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 ein Drittel des Schwankungsbereichs unter dem Maximum. Ist der Schwankungsbereich grösser als 10 dB, so ist unbedingt ein integrierender Schallpegelmessgerät zu verwenden.

Wichtig ist, dass die Messdauer einen repräsentativen Zeitausschnitt erfasst, also mindestens einen Arbeitszyklus.

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

Aufgrund des Protokolls soll die Messung reproduzierbar sein.

5.5 Lärmmessungen der Suva

Die Fachleute der Suva benützen für ihre Lärmmessungen an Arbeitsplätzen integrierende Präzisionsschallpegelmesser, die gleichzeitig den Schallpegelbereich in Stellung «Fast» und den Dauerschallpegel anzeigen. Für Messungen an mobilen Arbeitsplätzen und für Langzeitmessungen werden Lärmdosimeter eingesetzt.

Sind detaillierte Abklärungen notwendig, z. B. im Hinblick auf Lärminderungsmaßnahmen, so werden Aufzeichnungen im Messgerät oder auf einem Digital-Recorder vorgenommen und im Labor ausgewertet.

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 «ohnahen Schallquellen» werden akustische Kuppler oder ein Kunstkopf (Head and Torso Simulator HATS) eingesetzt.

Nach den Messungen erhält der Betrieb ein Schallmessprotokoll. Es gibt Auskunft über das Ziel der Messungen, die verwendeten Messgeräte, die Datenerfassung und die von der Suva angewendeten Grenzwerte.

Stehen die Schallimmissionen im Vordergrund, so enthält das Messprotokoll eine individuelle Lärmtabelle (ILT, siehe Ziffer 6.4), in der die Lärmpegel und die Expositionszeiten sowie die erforderlichen Massnahmen erwähnt sind.

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 und eventuell den Pegelwerten der einzelnen Messpunkte.

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

Falls raumakustische Messungen stattgefunden haben, sind im Protokoll die Nachhallzeiten in den einzelnen Frequenzbändern angegeben (Bild 57), und eine Schallausbreitungskurve (Bild 58) zeigt den bisherigen und den mit raumakustischen Massnahmen zu erreichenden Schallpegelverlauf. Gegebenfalls wird eine Lärmkarte (siehe Bild 78, Seite 66) erstellt, welche die örtliche Verteilung des Schallpegels darstellt.

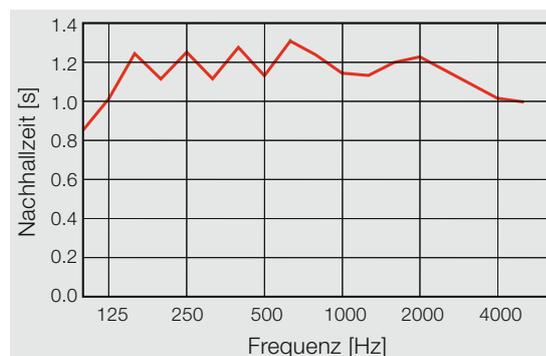


Bild 57: Nachhallzeit.

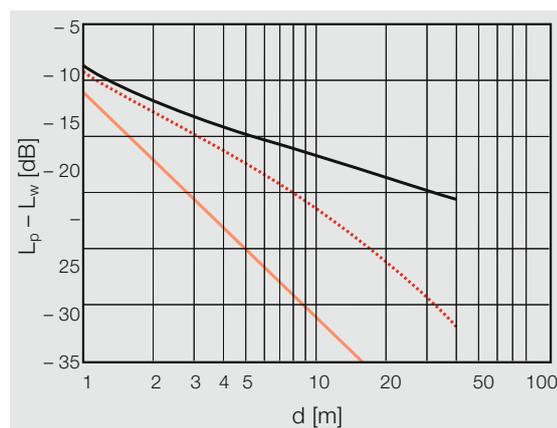


Bild 58: Schallausbreitungskurven.

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.

6.1.2 Berechnung des Lärmexpositionspegels L_{EX}

Als Mass für die Lärmbelastung definieren ISO 1999¹ und ISO 9612² 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.



Bild 59: In einigen Berufe wechselt die Lärmbelastung je nach Jahreszeit.

¹ ISO 1999, Ausgabe 1990-01: Akustik; Bestimmung der berufsbedingten Lärmexposition und Einschätzung der lärmbedingten Hörschädigung

² ISO 9612, Ausgabe 1997-06-01: Acoustics – Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment

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. Bild 60 zeigt die grundlegende Idee für solche Berechnungen.

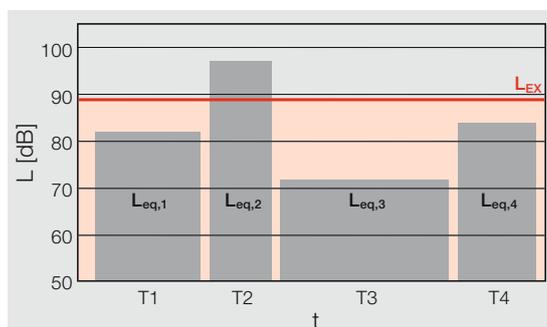


Bild 60: Wechselnde Schallbelastungen und Lärmexpositionspegel L_{EX} .

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

$L_{eq,i}$: 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

Bei wechselnden Lärmbelastungen gilt es, Zeitabschnitte oder Arbeitsphasen mit typischen, gleichbleibenden Lärmbelastungen voneinander getrennt zu betrachten und die entsprechenden Dauerschallpegel L_{eq} zu bestimmen. Zusätzlich muss 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 für die jeweilige Normalarbeitszeit berechnet werden (siehe auch Bild 61).

Bei der Bestimmung der Arbeitsphasen ist besonders zu berücksichtigen, dass der Lärmpegel 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 anteilmässig in die Berechnungen einzubeziehen.

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

p_i : Dauer der Arbeitsphase in Prozenten der Arbeitszeit

Formel 17

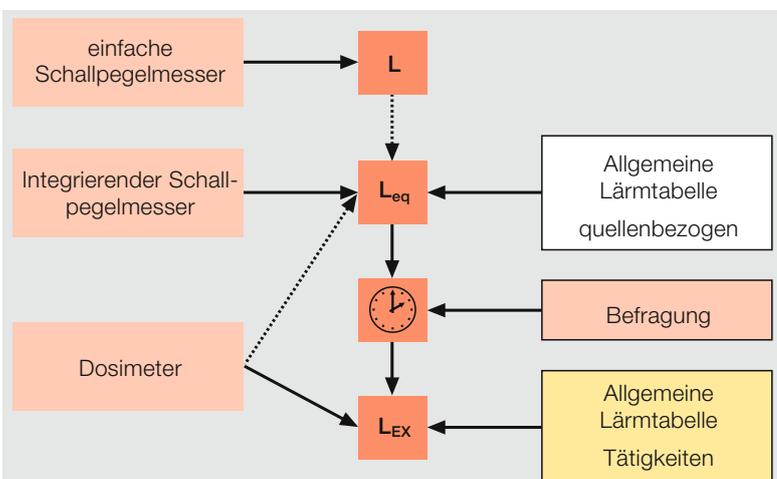


Bild 61: Möglichkeiten zur Bestimmung des Lärmexpositionspegels L_{EX} bei wechselnder Lärmbelastung und zusammengesetzten Tätigkeiten.

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).

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

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 Langzeitmessung (z. B. während eines ganzen Arbeitstages) 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.

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. Für entsprechende Empfehlungen stützt sich die Suva auf den Tagesexpositionspegel.

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 Laubbläusers im Herbst, Erntemaschinen o.ä.), sind dabei anteilmässig 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/waswo/86173 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.

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.

Das Total der Lärrpunkte 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 Lärrpunkte pro Stunde als Durchschnitt einer Arbeitswoche ergibt. Wird dieser Durchschnittswert der Lärrpunkte 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 lärrmige Arbeitstage vorgenommen wird.

6.1.5 Rechenbeispiele

Beispiel 1: Unterhaltsmechaniker

Für einen Unterhaltsmechaniker in einem Produktionsbetrieb der Nahrungsmittelindustrie wurden folgende Dauerschallpegel L_{eq} und wöchentliche Expositionszeiten erhoben (Tabelle 20):

Durchschnittliche Anzahl Lärrpunkte pro Stunde:

$$157 \text{ Pt./Wo} : 40 \text{ h/Wo} = 4 \text{ Pt./h}$$

Daraus den L_{EX} nach Tabelle 19 bestimmen:
4 Pt./h → L_{EX} = 86 dB(A)

L _{eq}	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 Lärrpunkte.

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

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

Formel 20

Ein Vergleich mit den Grenzwerten unter Ziffer 4.6 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, Platzreinigung mit Laubbläser im Herbst an 6 Tagen während je 3 Stunden. 2 Stunden pro Monat entsprechen einer wöchentlichen Exposition von 0,5 Stunden; $6 \times 3 = 18$ Stunden pro Jahr entsprechen einer wöchentlichen Exposition von $18 \text{ h/a} \div 50 \text{ Wo/a} = 0,36 \text{ h/Wo}$.

Durchschnittliche Anzahl Lärmpunkte pro Stunde:

$$36 \text{ Pt./Wo} : 40 \text{ h/Wo} = 0,9 \text{ Pt./h}$$

Daraus den L_{EX} nach Tabelle 19 bestimmen:
 $4 \text{ Pt./h} \rightarrow L_{EX} = 80 \text{ dB(A)}$

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:

$$40 \text{ Pt./Tag} : 8 \text{ h/Tag} = 5 \text{ Pt./h}$$

Daraus den L_{EX} nach Tabelle 19 bestimmen:
 $5 \text{ Pt./h} \rightarrow L_{EX,8h} = 87 \text{ dB(A)}$

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.



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

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 $L_{EX,8h} = 90 \text{ dB(A)}$ ergibt.

Schallquelle, Schallereignis	Messwerte		Konsequenzen		
	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	Berechtigung
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.

6.2 Beurteilung der Gehörbelastung durch Impusllärm

6.2.1 Grundlagen

Wie unter Ziffer 3.5 erwähnt, können heftige Knallereignisse das Gehör sofort 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 Impusllärm 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.

6.3 Beurteilung von Arbeitsplätzen

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

1. Beurteilung aufgrund der allgemeinen Lärmtabellen (ALT) der Suva
2. Messung durch den Betrieb mit eigenem Schallpegelmessgerät oder mit einem Leihgerät der Suva
3. Messung durch die Suva, Bereich Physik

Die erste Variante eignet sich vor allem für kleinere und mittlere Betriebe, für die eine allgemeine Lärmtabelle der Suva besteht. In vielen Fällen kann aufgrund der ALT 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 58 55, Mail: akustik@suva.ch), wenn Sie einen Schallpegelmessgerät ausleihen möchten oder Messungen durch die Suva wünschen.

6.3.1 Risikobeurteilung mit allgemeinen Lärmtabellen

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, allgemeinen Lärmtabellen (ALT) zusammenzufassen. In diesen ALT sind die Lärmexpositionspegel für die typischen Tätigkeiten und Arbeitsplätze einer Branche zusammengefasst und bezüglich der zu treffenden Massnahmen beurteilt. Mit Hilfe solcher ALT 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 allgemeinen Lärmtabellen finden Sie unter www.suva.ch/waswo/86005. Die ALT können im Internet unter www.suva.ch/waswo eingesehen, ausgedruckt und bestellt werden.

Wenn bei der Lärmbeurteilung anhand einer ALT Fragen auftauchen oder wenn die individuellen Verhältnisse im Betrieb in der ALT 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 Lärm-schutzmassnahmen direkt nachzuprüfen.

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

Detaillierte Angaben zur Schallmesstechnik und zum Vorgehen bei Lärm-messungen 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 ALT jährlich überprüft und wo nötig aktualisiert. Somit fließen die Daten aus den Messungen in Einzelbetrieben wieder in die ALT ein. Dadurch ist gewährleistet, dass Veränderungen von Produktionsverfahren oder technische Entwicklungen bei Maschinen und damit einhergehende Änderungen der Lärmbelastung in den ALT berücksichtigt werden.

6.4 Schallmessprotokoll zu Messungen in einem Betrieb

Das Schallmessprotokoll 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 Wertebereich der Schallpegel (L_{\min} - L_{\max}) 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.

Tätigkeitsbezogene Beurteilung

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

Messungen

Ort, Abteilung, Maschinen, Tätigkeit	Bemerkungen	L_{min} - L_{max} dB(A)	L_{eq} dB(A)	Exp. %	L_{EX} dB(A)
Druckerei EG					
Formulardruckmaschine 334					
Processing		87-90	88	25	
Druckwerke		86-91	89	75	89
Formulardruckmaschine 333					
Kontrollpult		88-89	89	90	
Druckwerke		85-92	87	20	89
Weiterverarbeitung					
Maschine 422 HPF					
Auslage		83-88	85	90	
Grundpegel im Raum	GP	80-83	81	10	85
Blockfabrikation					
Liniermaschine 328 Bravo		84-92	87	100	87
Blockmaschine 520 Bufalo					
Einlegen		78-94	86	75	
Auslage		78-89	81	25	85
Unterhalt					
Mechaniker					
Grundpegel Produktion			85	50	
Mechanikerarbeiten			80	50	83

Bild 63: Individuelle Lärmtabelle (ILT).

Berufliche Tätigkeit	L _{EX}	M	Aud	LQC	BC
Zuschneiderei				1801	
Zuschneider	90	2	A	1352.5	99990022
Schmiede				1809	
Schmied	95	2	A	1814.9	25305004
Abkanterei				1353	
Abkanter	86	2	(A)	1087.8	25304025
Stanzerei				1083	
Einrichter	86	2	(A)	1085.3	25209033
Stanzer	90	2	A	1085.1	25209003
Mechanische Bearbeitung				2008	
Maschinenmechaniker	80	-	-	2535.9	25403028
Schlosserei				1215	
Schlosser	95	2	A	1431.9	25308047
Schweisserei				1220	
Punktschweisser	83	1	-	1111.9	25301045
Schweisser, ohne Handwerkzeuge	86	2	(A)	1105.2	25301015
Schweisser, mit Handwerkzeugen	95	2	A	1106.9	25301015
Spenglerei				1225	
Spengler	86	2	(A)	1251.9	23206002
Apparatebau				1349	
Schweisser	90	2	A	1360.9	25301015
Schlosser	95	2	A	1351.9	25303009

Bild 64: Ausschnitt aus der allgemeinen Lärmtabelle 86238 für den Metall-, Stahl- und Grossapparatebau; tätigkeitsbezogene Lärmexpositionspegel L_{EX}.

Die angegebenen Lärmexpositionspegel L_{EX} stellen die wichtigsten Resultate der Lärm-messung 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.

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

6.5 Allgemeine Lärmtabelle (ALT)

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

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). Die Spalten LQC und BC dienen Suva-internen Zwecken (Bild 64).

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 allgemeinen Lärmtabelle abweicht. Ein kritischer Vergleich mehrerer Lärmpegel mit der Situation im eigenen Betrieb ist deshalb auf jeden Fall sinnvoll.

Ort, Abteilung, Maschinen	L _{eq} dB (A)		LQC	BC
	GP	AP		
Materiallager -----	75		9120.1	46103002
Zuschneiderei -----	83		1352	
Metallkreissägen für Stahl		83	1016.3	99990022
Metallkreissägen für Leichtmetall		95	1016.4	99990022
Bügelsägen		80	1012	99990022
Trennschleifmaschinen		100	1020	99990022
Tafelscheren > 8 mm		90	1097.5	99990022
Brennschneidanlagen		90	1093.1	99990022
Schmiede -----	90		1810.01	
Schmieden von Hand		95	1814	25305004
Schmiedehämmer		100	1815.11	25305004
Schmiedepressen		95	1816	25305004

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

6.5.2 Äquivalente Dauerschallpegel L_{eq}

Im zweiten Teil der allgemeinen Lärmtabellen (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. Auch hier sind wieder die Spalten LQC und BC vorhanden, die Suva-internen Zwecken dienen.

Äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} können verwendet werden, um Risikobeurteilungen für Tätigkeiten durchzuführen, für die im ersten Teil der allgemeinen Lärmtabelle 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.

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

Tabelle 24: Bedeutung der Abkürzungen in der Spalte Aud.

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 Lärminderung 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. Ein Verzeichnis der Firmen, die sich mit der Lärmbekämpfung und mit Fragen der Bau- und Raumakustik sowie der Schwingungsdämmung befassen, ist bei der Suva erhältlich (Bestell-Nr. 86023.d).

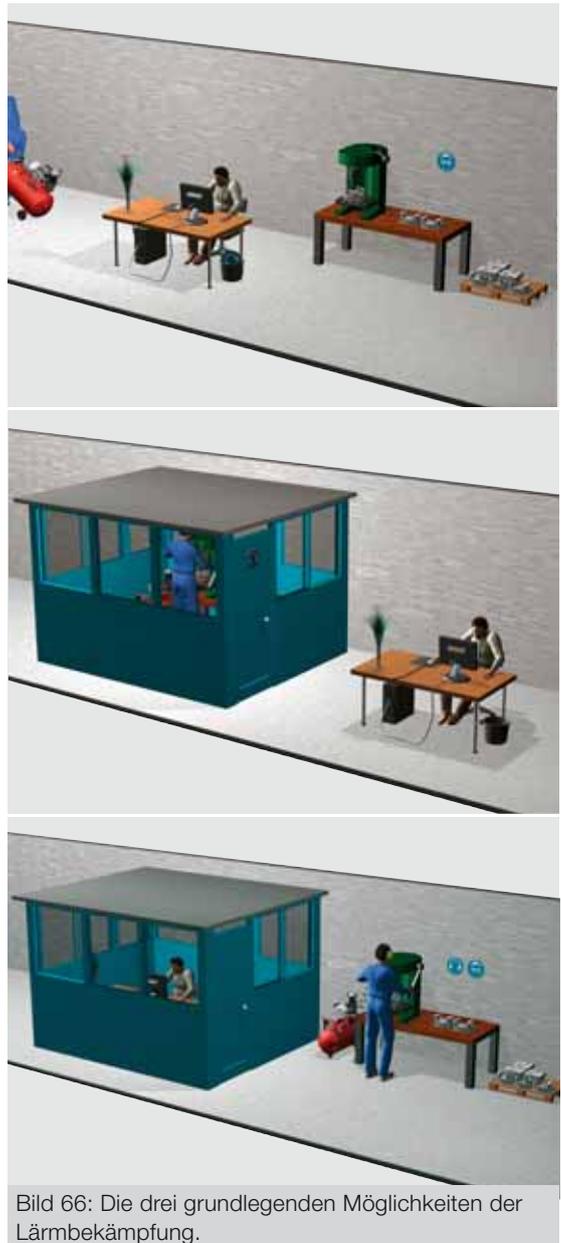
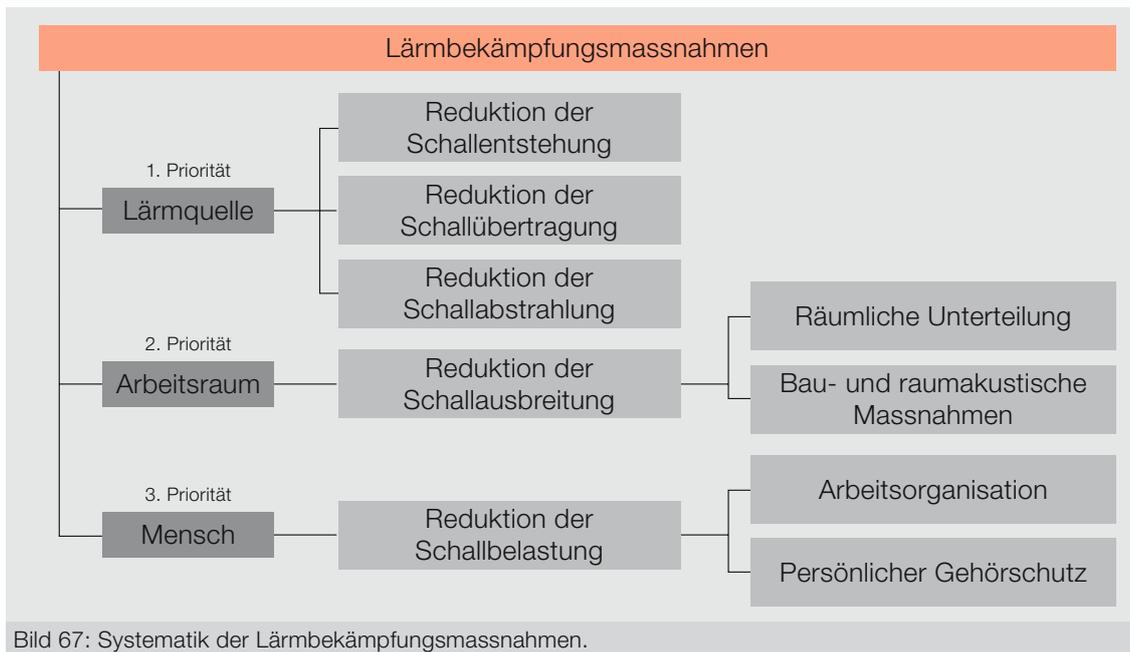


Bild 66: Die drei grundlegenden Möglichkeiten der Lärmbekämpfung.

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 (Bestell-Nr. 67009.d).



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. Im obenstehenden Schema (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 in der Industrie – eine Übersicht für den Praktiker» (Bestell-Nr. 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.

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

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)



Bild 68: Gummielement für die Lagerung eines Ventilators.



Bild 69: Kunststoff-Kompensator bei der Abluftleitung einer Prozessanlage.



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

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» (Bestell-Nr. 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).



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

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).



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



Bild 74: Gekapselte Flachsleifmaschine zur Herstellung von Bodenbelägen.



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



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

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 Behälter 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

Über das Transportband (Bild 76) werden die Kunststoffabfälle der Kunststoffmühle im Untergeschoss (Bild 77) zugeführt. 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.



Bild 76: Transportband einer Kunststoffmühle.



Bild 77: Kunststoffmühle in separatem Raum.

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

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.

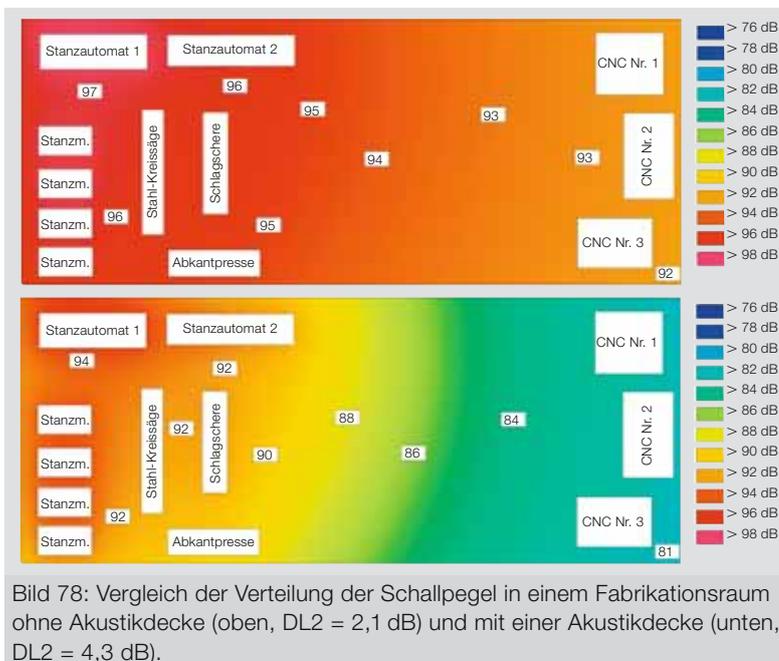


Bild 79: Typischer Fabrikationsraum: Stahlbau mit Profilblech, ohne wirksame Akustikdecke. Dieser Raum wirkt sehr hallig, und der Maschinenlärm stört stark im ganzen Raum.



Bild 80: Akustikdecke in einer Aluminium-Schweisserei.



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

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 4 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.



Bild 82: Akustikdecke in einem Textilbetrieb.

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.

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 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)
- getroffenen 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
- Einfluss der Tragdisziplin auf 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 worden sind.

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/waswo/99051).

Ein gesundes Gehör kann durch nichts ersetzt werden.

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

8.3 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:

1. Tragkomfort
2. Eignung für die Tätigkeit
3. 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, 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.

L_{EX} in dB(A)	Empfohlener SNR-Wert
bis 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?

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

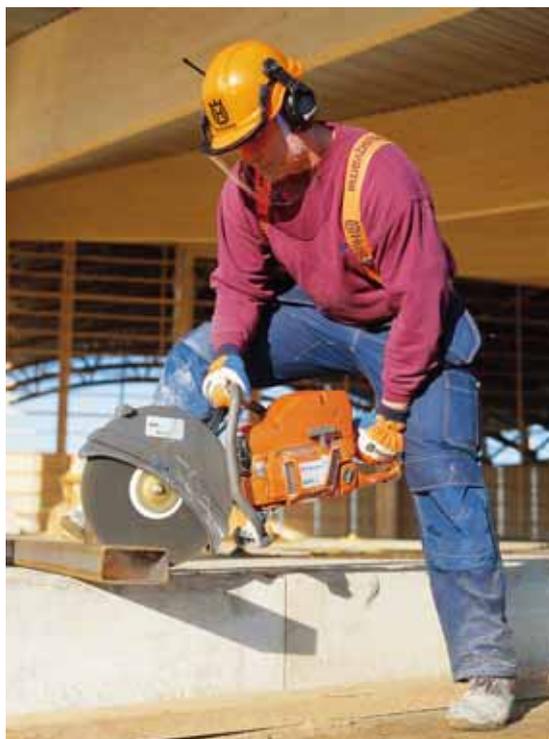


Bild 83: Gehörschutzkapseln können rasch aufgesetzt werden – ideal für kurze Lärmexpositionen.

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.

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.

Gemäss Schätzungen der Suva sind von den rund 200'000 beruflich lärmexponierten Personen in der Schweiz etwa 85 % 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.

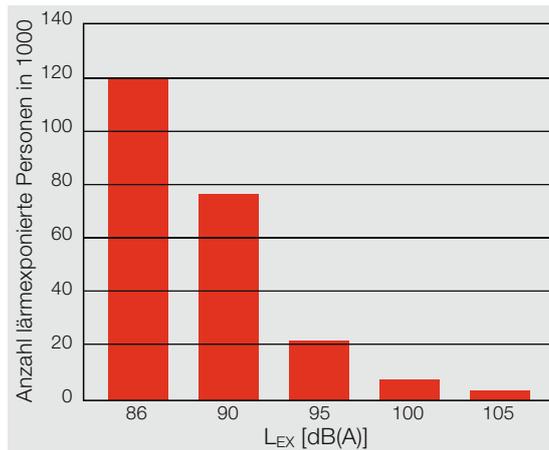


Bild 84: Schätzung der Anzahl Personen, die während ihrer Arbeit einem bestimmten Lärmpegel ausgesetzt sind.

Lediglich 15 % 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 sie sehr hohen Schallpegeln oder tieffrequentem Lärm ausgesetzt sind (Bild 85).

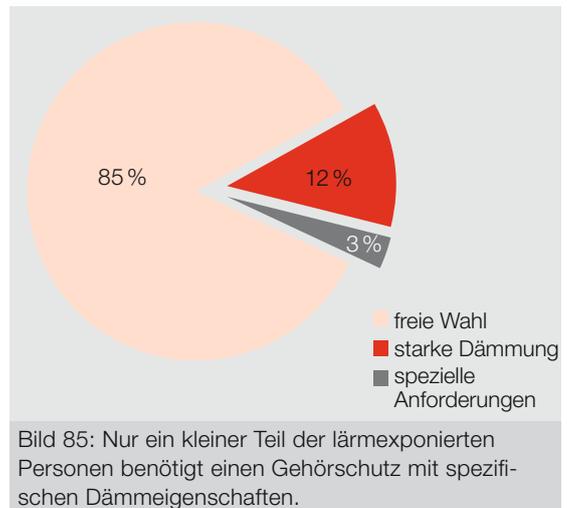


Bild 85: Nur ein kleiner Teil der lärmexponierten Personen benötigt einen Gehörschutz mit spezifischen Dämmeigenschaften.

8.4 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.

Gehörschutz SNR	Wirksame Dämmung	Zeit mit Gehörschutz						
		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.¹⁾

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.

¹⁾ 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.

8.5 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.

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.

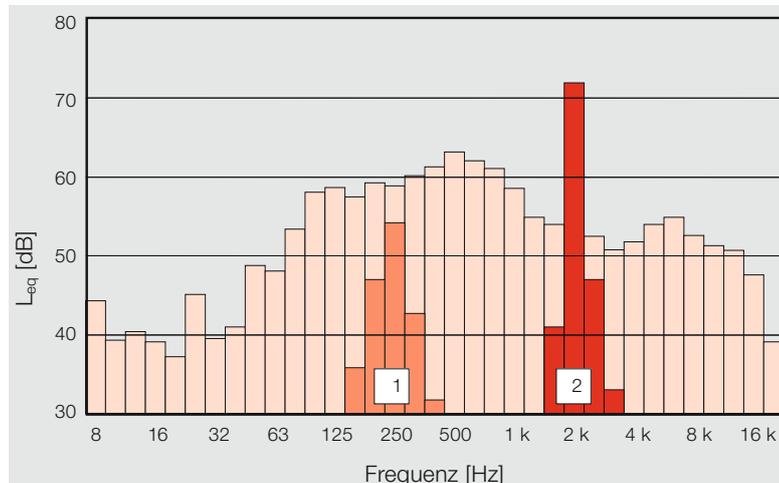


Bild 86: Signalwahrnehmung im Lärm.

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.

Über die Eigenschaften und über Vor- und Nachteile der verschiedenen Arten von Gehörschutzmitteln (auch über individuell angepasste, «otoplastische» Gehörschutzmittel) informiert das «Merkblatt Gehörschutzmittel» (www.suva.ch/waswo/86610).

Die ausführliche Publikation «Der persönliche Gehörschutz» (Bestell-Nr. 66096.d) bietet weitergehende Informationen und Grundlagenwissen. Sie gibt auch Ratschläge, wie Widerständen und Problemen bei der Einführung von Gehörschutzmitteln begegnet werden kann.

Eine Lieferantenliste sowie ein breites Angebot an Gehörschutzmitteln finden Sie unter www.suva.ch/sicherheitsprodukte.

9 Verhütung lärmbedingter Gehörschäden

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 gehörfährdendem 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 27 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/waswo/67009).



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

9.1.2 Verhalten im akustischen Notfall

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 28). 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.

Kapitel im Sicherheits- handbuch	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: <ul style="list-style-type: none"> ■ Risiko eines Gehörschadens durch Lärm ■ Auswirkung eines Gehörschadens im Alltag ■ keine Heilung möglich ■ getroffene technische Massnahmen darstellen ■ notwendige persönliche Massnahmen erläutern und instruieren ■ Sicherheitsregeln erläutern und instruieren 	Ziffer 3, 8.2
4. Sicherheitsregeln	Regelung der Tragpflicht für Gehörschutzmittel: <ul style="list-style-type: none"> ■ Lärmbereiche ■ Tätigkeiten 	
	Berücksichtigung des Faktors «Lärm» bei: <ul style="list-style-type: none"> ■ Beschaffung neuer Maschinen ■ Evaluation neuer Arbeitsmethoden ■ Um- und Neubauten ■ Sanierungen 	Ziffer 7, 8.2
5. Gefahrenermittlung, Risikobeurteilung	Risikobeurteilung gemäss geltenden Grenz- werten für gehörgefährdenden Lärm	Ziffer 6
6. Massnahmenplanung und -realisierung	Prüfung und Umsetzung von Massnahmen zur Lärminderung	Ziffer 7
7. Notfallorganisation	Vorgehen bei akuten Hörproblemen regeln	Ziffer 9.1.2
8. Mitwirkung	Personal einbeziehen bei: <ul style="list-style-type: none"> ■ Auswahl der zur Verfügung stehenden Gehörschutzmittel ■ Planung der technischen, organisatorischen und persönlichen Lärmschutzmassnahmen 	Ziffer 4.2.4, 8.3
9. Gesundheitsschutz	Sicherstellen, dass der Betrieb im Prophylaxe- Programm der Suva erfasst ist	Ziffer 9.2
10. Kontrolle, Audit	<ul style="list-style-type: none"> ■ regelmässige Überprüfung der getroffenen Massnahmen ■ Erkennen von Verbesserungsmöglichkeiten 	(66101.d)

Tabelle 28: Verankerung des Lärmschutzes im betrieblichen Sicherheitssystem.

9.1.3 Vorgehen bei Verdacht auf einen lärmbedingten Gehörschaden

Wenn ein Mitarbeitender 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 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 allgemeinen Lärmtabellen, 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.

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
- 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.



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

9.2.2 Welche Personen werden im Audiomobil untersucht?

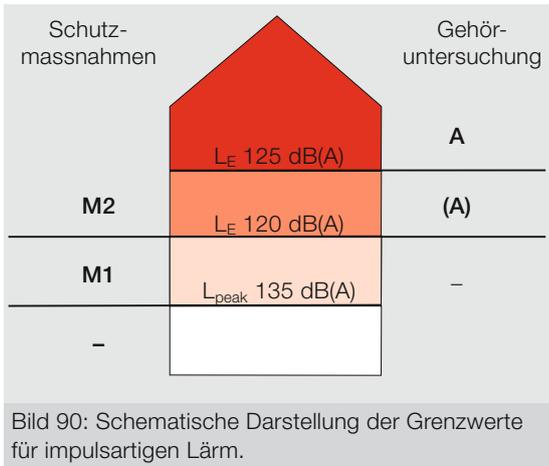
Bei der Frage, welche Personen Anrecht auf eine Untersuchung haben bzw. wer dazu verpflichtet ist, stützt sich die Suva auf die Lärmexposition am Arbeitsplatz. Die Exposition wird beurteilt anhand der allgemeinen Lärmtabellen ALT beziehungsweise anhand allenfalls vorhandener Schallmessprotokolle (siehe Ziffer 6). Damit wird dem Prophylaxe-Gedanken des Audiomobil-Programms Rechnung getragen. Es werden nämlich nur Personen im Audiomobil untersucht, die wegen ihrer Lärmexposition am Arbeitsplatz einem erhöhten Risiko eines lärmbedingten Gehörschadens ausgesetzt sind.

Personen, die während ihrer beruflichen Tätigkeit einem Lärmexpositionspegel L_{EX} von 85 dB(A) und mehr ausgesetzt sind, haben ein Anrecht auf die Gehöruntersuchung im Audiomobil der Suva. Personen, deren Lärmexpositionspegel L_{EX} 88 dB(A) und mehr beträgt, sind zur Untersuchung verpflichtet.

Schutzmassnahmen		Gehöruntersuchung
	$L_{EX, 2000h}$ 88 dB(A)	A
M2	$L_{EX, 2000h}$ 85 dB(A)	(A)
M1	$L_{EX, 8h}$ 85 dB(A)	-
-		

Bild 89: Schematische Darstellung der Grenzwerte für Dauerlärm.

Personen, die Impusllärm mit Spitzenpegeln L_{Peak} von 135 dB(C) oder mehr ausgesetzt sind, haben Anrecht auf Gehöruntersuchung, wenn der Schallexpositionspegel L_E den Wert von 120 dB(A) erreicht oder überschreitet. Werden L_E -Werte von 125 dB(A) erreicht oder überschritten, sind die betroffenen Personen zur Gehöruntersuchung verpflichtet.



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 aufwändigen Umschulung führen könnten.

Immer wieder möchten Betriebe auch Personal im Audiomobil untersuchen lassen, das keinem gehörgefährdenden Lärm ausgesetzt ist, sei dies im Rahmen einer Aktion zur Gesundheitsförderung oder weil ein Konzern tiefere Grenzwerte für die Lärmbelastung des Personals ansetzt. Solche Untersuchungen sind grundsätzlich möglich. Allerdings muss dann der Betrieb die Kosten für die Untersuchungen selber tragen. Für entsprechende Anfragen und Auskünfte steht Ihnen der Bereich Audiometrie gerne zur Verfügung:

Suva
 Abteilung Arbeitsmedizin
 Bereich Audiometrie
 Postfach, 6002 Luzern
 Telefon 041 419 51 11
 audiometrie@suva.ch

9.2.3 Organisation und Ablauf der Gehöruntersuchungen

Jährlich wird in den Audiomobilen der Suva das Gehör von rund 38'000 Personen aus 4'500 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 91). 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.



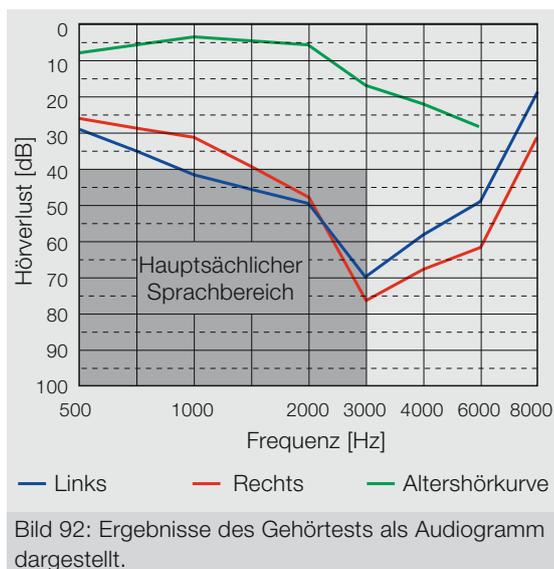
Bild 91: Gehöruntersuchungen der Suva: Ablaufschema.

- 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.
- 3a In jeder Region werden ausgewählte Betriebe angefragt, ob das Audiomobil auf ihrem Areal stationiert und auch Personal von anderen Betrieben dort untersucht werden darf und ob die notwendigen Voraussetzungen (Standplatz, Stromanschluss) erfüllt sind.
- 4 Ein bis zwei Monate vor dem Untersuchungstermin wird der ungefähre Zeitpunkt (Anfang, Mitte oder Ende des Monats) und der Ort der Untersuchung bekannt gegeben. Der Betrieb erhält Anweisungen, wie die Stammbblätter für die zu untersuchenden Personen auszufüllen sind und wie die Lohnausfallentschädigung zu berechnen ist.
- 5 Das Audiomobil-Team legt mit der Kontaktperson des Betriebs eine Woche im Voraus telefonisch den genauen Untersuchungstermin fest.
- 6 Die Untersuchung erfolgt während der üblichen Arbeitszeiten. Pro halbe Stunde werden 4 Personen untersucht. Die Stammbblätter aller zu untersuchenden Personen eines Betriebs sind zu Beginn der Untersuchung dem Audiomobil-Team zu übergeben.
- 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).
- 10 Aus medizinischen Gründen kann für einzelne Personen die Durchführung der Gehöruntersuchung in einem verkürzten Intervall von rund 2 Jahren (Halbintervall) angeordnet werden.

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 Lärmtabellen (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 8'000 Hz bestimmt (siehe Ziffer 3.3) und in Form eines Audiogramms (Bild 92) 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.



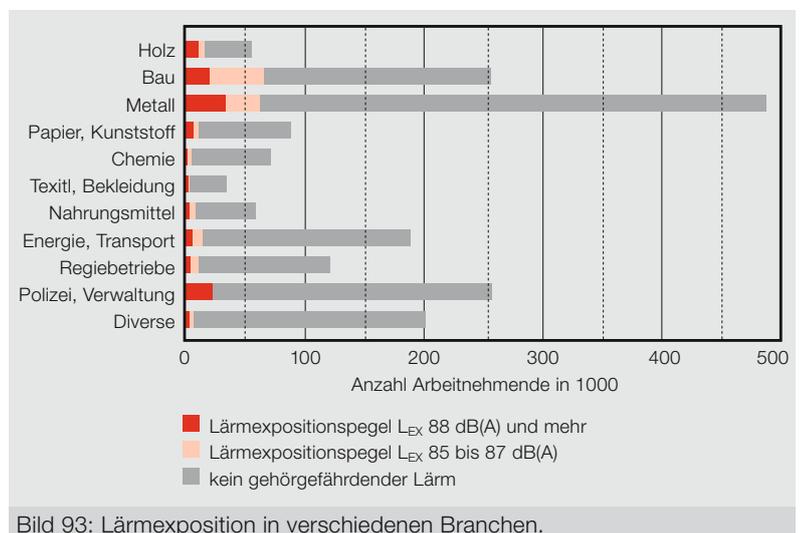
Sämtliche Daten der Berufsanamnese und der Gehöruntersuchung werden archiviert und stehen für spätere Fragen und Abklärungen zur Verfügung.

Eine detaillierte Beschreibung der Untersuchung im Audiomobil finden Sie in der Suva-Publikation «Verhütung der beruflichen Lärmschwerhörigkeit» (Bestell-Nr. 1909/1.d).

9.3 Anteil der Lärmexponierten in verschiedenen Branchen

Bild 93 zeigt, welcher Anteil der Arbeitnehmenden einer Branche gehörgefährdendem Lärm ausgesetzt ist. Es sind Schätzungen aufgrund der Zahl der Arbeitnehmenden pro Branche (Jahr 2002) und des jeweiligen prozentualen Anteils an Lärmexponierten.

Von den Lärmexponierten arbeiten 32 % in der Baubranche und 20 % in der Metallbranche. Innerhalb der Branchen ist der Anteil der Lärmexponierten in der Holzindustrie (40%) und in der Baubranche (24%) am grössten. Auffallend ist der mit 14% hohe Anteil Lärmexponierter in der Verwaltung. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Polizisten, die im Rahmen der regelmässigen Schiessübungen sowie beim Ernstfall-Einsatz von Schusswaffen gehörgefährdendem Lärm ausgesetzt sind.



9.4 Entwicklung der beruflichen Lärmbelastung

Die Lärmbelastung hat in den letzten Jahrzehnten an vielen Arbeitsplätzen deutlich abgenommen. Bild 94 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.

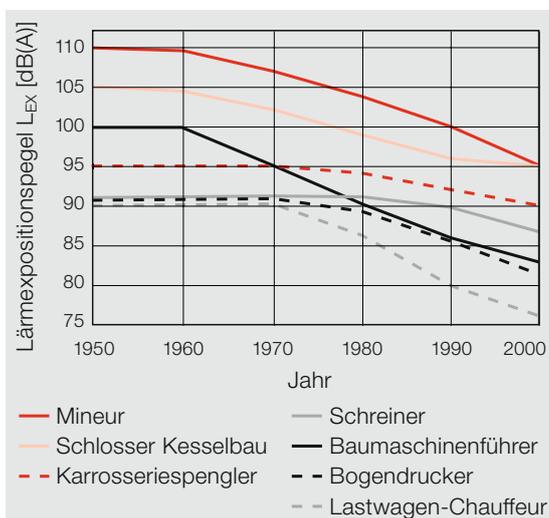


Bild 94: Entwicklung der Lärmexposition in verschiedenen Berufen.

Leider ist immer wieder zu beobachten, dass der technische Fortschritt eine Leistungssteigerung erlaubt und die erhöhte Produktionsgeschwindigkeit die Anstrengungen zur Lärmreduzierung 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 95).

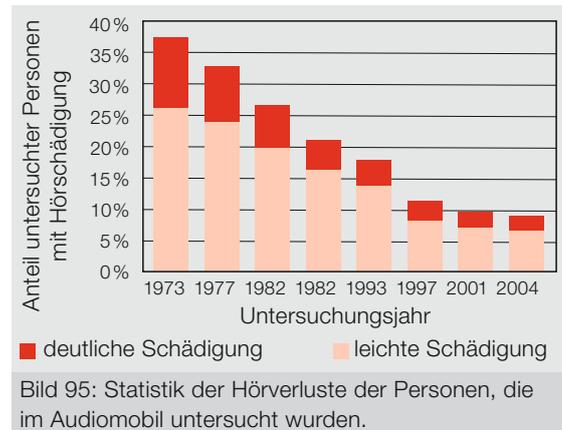


Bild 95: Statistik der Hörverluste der Personen, die im Audiomobil untersucht wurden.

Trotz dieser positiven Entwicklung ist nach wie vor bei 17% (2004: 696 Fälle) aller anerkannten Berufskrankheiten die berufliche Lärmbelastung die Ursache (Bild 96). Dies macht deutlich, dass die Aktivitäten der Gehörschadenprophylaxe weitergeführt werden müssen.

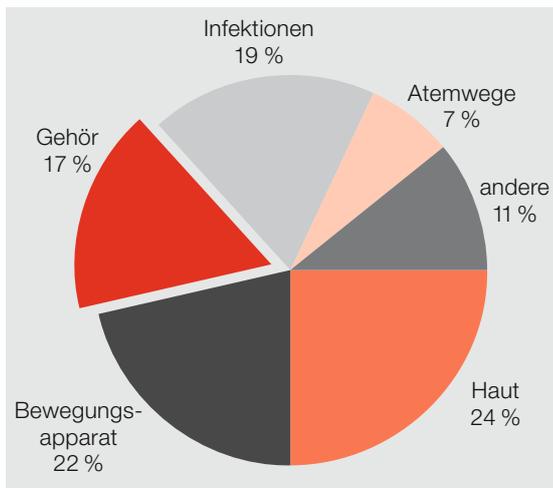


Bild 96: Anteil der Lärmschwerhörigkeit an der Zahl der anerkannten Berufskrankheitsfälle im Zeitraum 2000 bis 2004.

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» (Bestell-Nr. 84001.d).

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.

10 Zusammenfassung

Lärmschwerhörigkeit ist unheilbar, aber vermeidbar! Die vorliegende Publikation will einen Beitrag leisten zur Verhütung dieser in der Schweiz immer noch dritthäufigsten Berufskrankheit. 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 Arbeitnehmenden 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 Automobil).

Die Publikation enthält 96 Abbildungen, zahlreiche Tabellen und einen Anhang mit Adressen und Hinweisen auf weiterführende Informationen.

Die Verfasser danken

- der Abteilung Arbeitsmedizin der Suva für die Überprüfung der arbeitsmedizinischen Texte.
- allen Kolleginnen und Kollegen der Suva, die zum Erscheinen dieser Publikation beigetragen haben.
- den Firmen, die uns bei den Fotoaufnahmen unterstützt oder Fotos zur Verfügung gestellt haben:
 - ANADA AG, Glattbrugg
 - 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

Dr. Beat Hohmann
Walter Lips
Heinz Waldmann

Anhang 1

Weiterführende Informationen

Literatur

Alle wichtigen Publikationen der Suva zum Thema Lärm können im Internet als PDF-Dateien angeschaut, ausgedruckt oder bestellt werden:
www.suva.ch/waswo, Stichwort «Lärm».

Durch Anfügen der Bestellnummer gelangt man direkt zur gewünschten Suva-Publikation. Beispiel:
www.suva.ch/waswo/86001 führt direkt zum Merkblatt «Publikationen zum Thema Lärm».

Weitere Informationen über Lärm sowie Verweise auf wichtige Quellen finden Sie unter:
www.suva.ch/akustik.

Gesetzestexte

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

Gesamtübersicht über schweizerische (Bund, Kantone, Gemeinden, private Herausgeber) und internationale Gesetzestexte und Rechtsdaten unter www.rechtsinformation.admin.ch

Normen

Schweizerische Normenvereinigung SNV
www.snv.ch

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

Aufsichts- und Vollzugsorgane

Bund

Eine umfassende Zusammenstellung von Gesetzen, Verordnungen und Artikeln über verschiedene Umweltlärmprobleme vermittelt: www.laerm.ch.

Staatssekretariat für Wirtschaft SECO:
www.seco.admin.ch

Bundesamt für Gesundheit (BAG):
www.bag.admin.ch

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BAFU): www.umwelt-schweiz.ch

Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit EKAS: www.ekas.ch

Kantone

Lärmfachstellen der Kantone unter:
www.cerclebruit.ch
«Cercle Bruit» zeichnet auch für www.laerm.ch verantwortlich.

Kantonale Arbeitsinspektorate (KAI):
www.arbeitsinspektorat.ch

Private Institutionen

Schweizerische Liga gegen den Lärm:
www.laermliga.ch

pro audito schweiz
Selbst- und Fachhilfe bei Hörproblemen
www.pro-audito.ch

equiterre Zürich (früher Schweizerische Gesellschaft für Umweltschutz SGU):
www.equiterre.ch

Schweizerische Gesellschaft für Akustik SGA:
www.sga-ssa.ch

Schweizerische Gesellschaft für Ergonomie SwissErgo: www.swissergo.ch

Anhang 2

Bezeichnung von Schallmessgrößen

Internationale Bezeichnungen, Verweise auf grundlegende Normen

Deutsch	Français	Italiano	English	Abkürzung	Kapitel
Schallimmission 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 interno o esterno misurato in prossimità dei ricettori	Sound exposure sound immission in a specific place or referring to a person [receiver]	-	5.1
(A-bewerteter) Schall- druckpegel EN 61672-1	niveau de pression acoustique (pondéré A) ISO 1996	livello di pressione sonora (ponderata «A»)	(A-weighted) sound pressure level ISO 1996	L (L_{pA})	2.6 2.7 5.2
maximaler/ minimaler Schall- druckpegel (bei Verwendung der Zeitbewertung F) SN ISO 11200	niveau de pression acoustique maximal/ minimal (avec la pondération temporelle F) ISO 11200	livello di pressione sonora massimo/ minimo (con costante di tempo F)	maximum/ minimum sound pressure level ISO 11200	L_{Fmax}/L_{Fmin}	5.2
(A-bewerteter) äquivalenter Dauerschallpegel, Mitteilungspegel EN 61672-1 äquival. Dauer- schalldruckpegel	niveau de pression acoustique continu équivalent (pondéré A) ISO 1996	livello continuo equivalente di pressione sonora (ponderata «A»)	equivalent continuous (A-weighted) sound pressure level ISO 1996	L_{eq} (L_{Aeq})	2.8.1
Lärmexpositions- pegel, Richtlinie 2003/10/EG	niveau d'exposition au bruit ISO 1999	livello di esposi- zione al rumore Direttiva 2003/10/CE	noise exposure level ISO 1999	L_{EX}	4.7.1 6.1
Schallexpositions- pegel EN 61672-1	niveau d'exposition acoustique ISO 1996	livello di esposi- zione sonora	sound exposure level ISO 1996	L_E (SEL)	2.8.2 4.7.2
(C-bewerteter) Spitzenschall- druckpegel SN ISO 11200	niveau de pression acoustique de crête (pondéré C) ISO 11200	livello di pressione acustica di picco (ponderata «C»)	maximum (C-weighted) peak level ISO 11200	$L_{pC,peak}$ L_{Cpeak} $L_{Ccrête}$ $L_{peak}, L_{crête}$	2.11 4.7.2 5.2 6.2

Tabelle 29: Immissionsbezogene Schallmessgrößen.

Deutsch	Français	Italiano	English	Abkürzung	Kapitel
Schallemission 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	-	5.1
(A-bewerteter) Emissions- Schalldruckpegel am Arbeitsplatz SN ISO 11200	niveau de pression acoustique d'émission au poste de travail (pondéré A) ISO 11200	livello di pressione sonora al posto di lavoro (ponderata «A») UNI EN ISO 11200	emission sound pressure levels at a work station (A-weighted) ISO 11200	L _{pA}	4.5
(A-bewerteter) Schalleistungs- pegel ISO 3744	niveau de puissance acoustique (pondéré A) ISO 3744	livello di potenza sonora (ponderata «A») UNI EN ISO 3744	sound power level (A-weighted) ISO 3744	L _{WA}	4.5 5.1 2.5 2.9

Tabelle 30: Emissionsbezogene Schallmessgrößen.

Anhang 3

Physikalische und akustische Grössen und Masseinheiten

Zeichen	Grösse	Einheit	Kapitel
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 _{Peak}	Schalldruckspitzenpegel	dB	5.2, 6.2, 9.2.2
L _W	Schallleistungspegel	dB	2.9
L _{pA}	Emissions-Schalldruckpegel	dB	4.5, 4.12
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
λ	Wellenlänge	m	2.4

Tabelle 31: In dieser Publikation verwendete physikalische und akustische Grössen.

Sachwortregister

A

A-Bewertung (A-Filter, Filter A) 10, 47
Absorption (Schallabsonderung) 7, 17
Abstrahlung (Schallabstrahlung) 8, 12, 13, 65
Aktive Gehörschutzmittel 4
Akustikdecke 17, 33, 66, 67
Alarmsignal 27, 69
Allgemeine Lärmtabelle (ALT) 50, 55, 58, 59
ALT (allgemeine Lärmtabellen) 50, 55, 56, 58, 76
Altersbedingte Abnahme 22, 24
Amplitude 5
Äquivalente Dauerschallpegel 11, 50, 59
Arbeitsgesetz 29, 33, 34, 36, 67
Arbeitszyklus 47
ArG (Arbeitsgesetz) 29
Atmosphärischer Druck 5
Audiogramm 22, 24, 26, 77, 79
Audiomobil 35, 53, 54, 56, 58, 75
Audiomobile 3
Auflösungsvermögen 19, 21, 23
Ausbildung → Instruktion 74
Aussenlärm (-Immissionen) 34
Aussenohr 19
Auswirkungen des Lärms 26, 28

B

Basilarmembran 19, 20, 25
Bau- und raumakustische Massnahmen 65
Bedingte Eignungsverfügung 78
Bezugspflicht 32
Belästigender Lärm am Arbeitsplatz 21, 28
Berufsanamnese 75, 79
Berufskrankheit 3, 23, 29, 75, 80
Berufsunfälle 30, 33
Beugung 7
Bewertungsfilter 10, 41, 44
Bezugsschalldruck 9
Bezugsschall-Leistung 12
Bezugszeit 11
Binaural 26
Blaspistole 62
Bleibender Hörverlust 23

D

Dämmwert (SNR-Wert) 69
Dauerlärm 15, 25, 54, 76
Dauerschallpegel 11, 28, 37, 40, 50, 55, 58, 80, 84
Deklarationspflicht 38
Dezibel (dB) 9
Diffuses Schallfeld 17, 18
Dosimeter (Lärmdosimeter) 50
Druckschwankung 5, 7

E

Effektivwert 42
EG-Richtlinien 38
Elektret-Mikrofone 40
Emissions-Schalldruckpegel 38
Emissionswert 38, 39
Erhöhte Anforderung 36
Ersatzquelle (Ersatzschallquelle) 13
Erschütterung 46
Europäische Union EU 39
EU-Lärm-Richtlinie 38
Eustachische Röhre 19
Explosion 5, 16, 54
Expositionspegel → Lärmexpositionspegel 11, 38
Expositionszeit (Lärmexposition) 47, 50, 55, 58, 71
Extraaurale Auswirkungen 28

F

Fast (Zeitkonstante) 42, 43, 48
Filter A 41
Filter C 41
Flächenquelle 16
Freies Schallfeld 16
Fremdgeräusch 13, 36
Frequenz 5, 17, 19
Frequenzanalyse 13 f, 19, 40, 43, 44, 47, 48
Frequenzbereich 20
Frequenzbewertung (Filter) 9, 43
Frequenzspektrum 14, 15
Frequenzumfang (Sprache, Musik) 6

G

Gehör 19
Gehörmuschel 19
Gehörgang 19, 69, 70
Gehörknöchelchen 19
Gehörschadenprophylaxe 30, 73, 75, 78, 80, 82
Gehörschutz, Gehörschutzmittel 31, 33, 35, 37, 39, 48, 51, 53, 61, 68, 78, 81, 82

Gehörtest 3, 79
Geräusch 14, 27, 37, 38, 41, 54, 71
Gesetze 29, 32, 83
Gewehrknall 42
Grenzwert 29, 33, 48, 53, 77
Grössen 9, 17, 43, 48, 54, 84
Grundlärmpegel 56, 66

H

Haarzellen 19, 20, 23, 25
Hallradius 17
Hallraum 13, 17
Harddisk-Recording 46
Hintergrundgeräusche 36, 37, 68, 71, 72
Höhenänderung 5
Hörbarer Schall 6
Höreinbusse 22, 23, 24, 25, 26
Hörempfindung 20
Hörnerv 19, 20
Hörschnecke 19
Hörschwellen 9, 20, 26, 72, 79
Hörtest 22, 79
Hörverlust 22, 79
Hörvermögen 3, 21, 22, 26, 75
Hüllfläche 13

I

IEC (International Electrotechnical Commission) 10, 13, 21, 41
Impedanzwandler 40, 41
Impulse (Zeitkonstante) 11, 12, 42, 51, 54, 56
Impulslärm (Impulsschall, Schallimpulse) 16, 24, 41, 54, 76
Impulslärmbelastungen 23
Individuelle Lärmtabelle 48, 57
Infraschall 6, 30, 37, 48
Innenohr 19, 25
Innenohrschäden 23
Instruktion 33, 35, 68, 70, 74
Integrierender Schallpegelmesser 43, 47, 50
Intermittierender Lärm 15
ISO (International Organization for Standardization) 12, 24, 29, 35, 49, 50, 66, 84, 85

J

Jahresexpositionspegel 49, 51, 53, 58

K

Kabine 37, 63, 75, 80
Kalibrator (Eichschallquelle) 44, 46
Kapselung 63, 64
Klang 14, 71
Klangfarbe 14
Knall 11, 16, 25, 56
Knallereignis 25, 48, 54
Knochenleitung 20, 22
Kondensatormikrofon 40
Kunstkopf 48
Kuppler, akustischer 48
Kurse 55
Kurven gleicher Lautstärkeempfindung 21, 41

L

Lärm am Arbeitsplatz 30, 33, 34, 36, 39, 43, 55, 60, 73
Lärmbekämpfung 29, 33, 35, 40, 44, 55, 60, 82
Lärmbelastung 29, 37
Lärmbelastung 23, 33, 38, 40, 49, 66, 75, 77, 79, 80, 82
Lärmbeurteilungskriterien 36
Lärmdosimeter 44, 48
Lärmeinwirkung 4, 40
Lärmemission 38
Lärmemissionswerte 34
Lärmempfindlichkeit 27
Lärmexpositionspegel 25, 35, 49, 69, 76
Lärmgrenzwerte 3
Lärmigkeit 27
Lärmimmission 36
Lärmkarte 48
Lärmmessung 4, 40, 42, 43, 48, 55, 56, 58
Lärmpegel 4
Lärmschutzmassnahmen 60
Lärmschwerhörigkeit 3, 23, 24, 49, 55, 73, 79, 81, 82
Lärmsituation 40
Lärmtabelle allgemeine (ALT), individuelle (ILT) → Schallmessprotokoll 33, 50, 55, 57, 75, 76, 79
Lärmverhältnisse an den Arbeitsplätzen 55
Lästigkeit 27
Linienquelle 16
LSV Lärmschutz-Verordnung 29, 30, 34
Luftdruck 5
Luftsäule 5
Luftschall 5, 20, 38, 65

M

Massnahmen zum Schutz des Gehörs 35
Massnahmen zur Lärmbekämpfung 35
Messmikrofon 8, 41
Mikrofon 20, 40, 41, 44, 54
Minidisc 45
Mittelohr 19, 20, 22, 25
Mittelungspegel → äquivalenter Dauerschallpegel 11, 36, 37, 42, 44, 47
Mitwirkung 30, 33, 68, 74, 82
Monaural 26
Musik, Musiker 4, 6, 20, 21, 25, 37, 68, 81
Mutterschutz, Schwangere 34

N

Nachhall 17
Nachhallzeit 17, 45, 48
Nichteignungsverfügung (NEV) 78
Normen 29, 40, 43, 46, 47, 49, 83, 84
Normalton 6
Normen 4
Notfall, Verhalten im 73, 74

O

Ohr 9, 19, 40, 73, 75, 78
Ohrgeräusch (Tinnitus) 25, 73
Oktavband 13
Otoakustische Emissionen 22
Otosklerose 25
Overload (Übersteuerung) 46

P

Parallelanalysator 44
PCM (Pulse Code Modulation) 45
Peak (Zeitkonstante) 9, 16, 35, 39, 41, 42, 54, 76, 77, 84
Pegel 9, 10, 14, 17, 37, 41, 44, 71
Pegelabnahme pro Distanzverdoppelung (DL2) 18
Pegelladdition 10, 13
Pegeldifferenz 21, 47, 65
Periode 5, 6
Persönlicher Gehörschutz 61
Phonkurven (Kurven gleicher Lautstärke) 21
Pistonphon (Kalibrator, Eichschallquelle) 44
Plangenehmigung 29, 33
Prophylaxe, medizinische 26, 74, 76
Protokoll (Schallmessprotokoll) 47, 48
Publikationen 83
Punktquelle 12, 16

R

Raumakustik 17, 38, 47, 60, 66, 67
Raumakustische Massnahmen 17, 61, 66, 67
Räumliche Unterteilung 61, 65
Rauschen, Rosa oder Weisses 14, 20, 25
Rechtliche Grundlagen 29, 30, 60
Reduktion der Schallabstrahlung 62, 63
Reduktion der Schallentstehung 61, 62, 63
Reduktion der Schallübertragung 62
Referenzsignal 46
Reflexion 7, 8, 9, 17, 46
Reiner Ton, Reinton 14, 47
Reintonaudiogramm 22, 26
Reintonaudiometer 21
Reproduzierbarkeit 47
Richtwerte, Raumakustik 33, 36, 37
Richtwerte für Hintergrundgeräusche 36
Risikoanalyse 32, 33
Rosa Rauschen 14

S

Schädigung des Gehörs 3, 23, 26, 30
Schallabsorption (Absorption) 13, 17
Schallabstrahlung 44, 61, 62
Schallausbreitung 12, 48, 61, 65, 66
Schallausbreitungskurve 48
Schalldruckpegel 9, 38, 85
Schallemission 4, 38, 40, 48, 85
Schallemissionsmessungen 40
Schallempfindung 8, 20
Schallenergie 8, 11, 16, 25, 40
Schallentstehung 5, 61
Schallexpositionspegel (SEL) 11, 25, 35, 54, 76
Schallfeld (diffuses/freies) 9, 12, 16, 20, 56, 59
Schallgeschwindigkeit 7
Schallimmission 48, 84
Schallimpuls 11, 42
Schallintensität 13
Schalleistung 8, 12, 13, 17, 34, 40
Schalleistungspegel 12
Schallmessgeräte 4, 42, 43, 45, 82
Schallmessprotokoll 48, 56, 58, 75, 76
Schallmesstechnik 40, 55, 82
Schallmessung (Lärmmessung) 33, 46, 47
Schallpegel 9, 17, 20, 27, 34, 40, 42, 45, 47, 48, 52, 56, 66
Schallpegelabnahme (Schalldruckabnahme) 17, 18
Schallpegeldifferenz 37

Schallpegelmesser 33, 40, 54, 55
Schallpegelschreiber 45
Schallreflexion (Reflexion) 46, 66
Schallschatten 7
Schallschwingung 5, 14
Schallübertragung 20, 21, 41, 61, 62
Schallwelle 19
Schallwellen 7
Schmerzschwelle 9, 20
Schutzausrüstung 30, 31, 67, 73
Schwangere, Mutterschutz 34
SIA (Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein) 29, 38
Sicherheit von technischen Einrichtungen und Geräten
34
Sicherheitssystem 4, 56, 73, 74
Signalwahrnehmung 26, 71
SNR-Wert (Dämmwert) 69, 70, 71
Spitzenpegel (Spitzenwert) 16, 25, 43, 54, 76
Spitzenwert (Spitzenpegel) 42, 45
Sprachbereich 22, 24, 26
Sprachliche Verständigung 26, 27
Sprachverständnis 22, 26
STEG 29, 34
Stimmton 6
Sturmgewehrknall 11, 42
Subharmonisch 47

T

Tagesexpositionspegel 49, 51, 52, 53
Tätigkeitsbezogene Lärmexpositionspegel 58
Tätigkeitsbezogene Richtwerte 36
Teilkapselung 62
Terzband 13, 14, 44
Tinnitus (Ohrgeräusche) 25
Ton 14, 20, 45, 79
Tonhöhe 14, 20, 21
Tonhöhenänderung 21
Transmission 7
Trommelfell 19, 25

U

Übersteuerung (Overload) 46
Ultraschall 6, 34, 36, 47, 48, 56
Umgebungsärm 27

V

Vakuum 5
Verdünnungseffekt 16
Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten
30, 32
Verordnungen 29, 83
Verzeichnisse 60
Vollzug, Vollzugsorgan 29, 32, 34, 83
Vorverstärker 40

W

Wanderwelle 19
Weisses Rauschen 14
Wellenlänge 7
Windgeräusche 5
Windschirm (Windschutz) 46

Z

Zeitbewertung 41, 84
Zeitkonstante 9, 42, 47

Bestellnummer: 44057.d