



Lärmmesstechnik

**Ermittlung des Lärmexpositionspegels
 am Arbeitsplatz**

**LÄRMSCHUTZ-
 ARBEITSBLATT**

LSA 01-400
 AUSGABE Oktober 2007

Bestell-Nr.: BGI 5053

Gliederung

1	Einleitung	2	8	Messstrategien	
2	Gesetzliche Bestimmungen		8.1	Tätigkeitsbezogene Messungen (Strategie 1)	9
2.1	Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“	2	8.2	Berufsbildbezogene Messungen (Strategie 2).....	9
2.2	Arbeitsstättenverordnung	2	8.3	Ganztags-Messungen (Strategie 3).....	10
2.3	Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung	2	8.4	Vergleich der drei Messstrategien.....	10
2.4	Geräte- und Produktsicherheitsgesetz	3	9	Bestimmen des Lärmexpositionspegels durch tätigkeitsbezogene Messungen	
3	Normen und Richtlinien	3	9.1	Zerlegung der Arbeitsschicht in Tätigkeiten	10
4	Grundbegriffe		9.2	Erfassen der Lärmexposition für die einzelnen Tätigkeiten	11
4.1	Schalldruckpegel, Spitzenschalldruckpegel	4	9.3	Berechnung des Lärmexpositionspegels	11
4.2	Zeitbewerteter Zeitdruckpegel.....	4	9.4	Berechnung der Lärmexposition in Lärm-schwerhörigkeitsfällen	12
4.3	Frequenzbewerteter Schalldruckpegel	5	9.5	Beispiele zur Berechnung des Lärmexpositionspegels.....	12
4.4	Äquivalenter Dauerschallpegel	5	10	Messunsicherheit	
4.5	Impulszuschlag	5	10.1	Allgemeines	13
4.6	Tonzuschlag	6	10.2	Unsicherheit nach DIN 45645-2.....	13
4.7	Beurteilungspegel.....	6	10.3	Unsicherheit nach ISO 9612	14
4.8	Lärmexpositionspegel	6	10.3.1	Einflussfaktoren und Berechnungen.....	14
4.9	Genauigkeitsklasse	6	10.3.2	Unsicherheit der Messgeräte	14
5	Messgeräte	6	10.3.3	Unsicherheit auf Grund der Mikrofonposition	14
6	Erfassen der Geräuschimmission		10.3.4	Berechnung der Unsicherheit bei tätigkeitsbezogenen Messungen.....	15
6.1	Allgemeines.....	7	10.3.5	Berechnung der Unsicherheit bei berufsbildbezogenen und Ganztags-Messungen.....	15
6.2	Orts- und personenbezogene Beurteilung.....	7	11	Vergleich mit Grenzwerten	
6.3	Ortsfeste und personengebundene Messung.....	7	11.1	Grenzwertvergleich nach DIN 45645-2	15
6.3.1	Ortsfeste Messung	7	11.2	Vorschlag für Grenzwertvergleich bei Messungen nach ISO 9612.....	15
6.3.2	Personengebundene Messung	8	12	Messbericht.....	16
6.4	Kalibrierung	8		Literatur	17
6.5	Erfassen der Messgrößen	8			
6.5.1	Erfassen des äquivalenten Dauerschallpegels L_{pAeq}	8			
6.5.2	Erfassen der Spitzenschalldruckpegels L_{pCpeak}	8			
7	Arbeitsanalyse, repräsentative Arbeitsschicht				
7.1	Repräsentative Arbeitsschicht	8			
7.2	Tages- und Wochen-Lärmexpositionspegel	9			

1 Einleitung

Nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 [1] muss der Unternehmer im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes [2] prüfen, ob die Beschäftigten Lärm oder Vibrationen ausgesetzt sind oder ausgesetzt sein könnten (§ 3). Dazu kann er sich z.B. auf die Angaben eines Maschinenherstellers, auf eigene Erfahrungen oder auf bestehende Datenbanken abstützen. Lässt sich die Einhaltung der in der Verordnung gegebenen Auslösewerte nicht zweifelsfrei ermitteln, muss er die bestehende Exposition durch geeignete Messungen objektiv erfassen.

Zur Durchführung der entsprechenden Messungen verweist die Verordnung auf den Stand der Technik (§ 4) und stellt damit eine Verknüpfung zu den einschlägigen technischen Messnormen her. Messverfahren und Messgeräte müssen den vorhandenen Arbeitsplatz- und Expositionsbedingungen angepasst sein. Die Messungen müssen von fachkundigen Personen durchgeführt werden (§ 5).

In diesem Beitrag soll die Vorgehensweise bei der Durchführung der entsprechenden Messungen zur Beurteilung der Lärmexposition beschrieben werden. Als Kennwert für die Geräuschimmission ist dabei der Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$ und gegebenenfalls zusätzlich der Spitzenschalldruckpegel L_{pCpeak} zu bestimmen. Darüber hinaus werden zuvor die damit zusammenhängenden gesetzlichen Regelungen und die anzuwendenden Normen und Richtlinien in kurzer Form dargestellt.

2 Gesetzliche Bestimmungen

Um den negativen Auswirkungen des Lärms an Arbeitsplätzen zu begegnen und die Beschäftigten vor unnötig hohen Belastungen zu schützen, wurden ab Mitte der 70er Jahre von staatlicher Seite und von Seiten der Berufsgenossenschaften verschiedene Arbeitsschutzvorschriften erlassen.

2.1 Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“

Die Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ [3] wurde im Dezember 1974 in Kraft gesetzt und hatte in der letzten Fassung vom Januar 1990 Bestand bis zur Verabschiedung der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [1] im März 2007. Sie hat sich über viele Jahre in Deutschland bewährt und dazu beigetragen, dass die Lärmbelastungen an vielen Arbeitsplätzen reduziert wurden. In der Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ wurden vorrangig technische Lärminderungsmaßnahmen, z.B. bei der Anschaffung neuer Maschinen und der raumakustischen Gestaltung der Arbeitsräume gefordert. Falls sich Lärmbelastungen nicht vermeiden ließen, war als letzte Möglichkeit der Schutz durch persönliche Schutzausrüstungen, d.h. Gehörschützer, vorgesehen.

Die Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ hatte Vorbildfunktion für die im Jahre 1986 verabschiedete erste Europäische Lärmschutzrichtlinie für den Arbeitsplatz (86/188/EWG) [4], die in ihren wesentlichen Präventionsgrundsätzen der Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ entsprach. Die EG-Lärmschutzrichtlinie von 1986 wurde durch die Neufassung der Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ im Jahre 1990 umgesetzt. Diese Unfallverhütungsvorschrift enthielt in den Durchführungsanweisungen zusätzliche, für die betriebliche Praxis nützliche Informationen und Hinweise, die voraussichtlich in Form einer Berufsgenos-

senschaftlichen Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BG-Regel) oder einer Technischen Regel des Ausschusses Betriebssicherheit (TRBS) erhalten bleiben.

2.2 Arbeitsstättenverordnung

Die Arbeitsstättenverordnung [5] wurde am 20. März 1975 herausgegeben und liegt inzwischen als Neufassung vom 12. August 2004 vor. Danach ist der Schalldruckpegel in Arbeitsstätten „so niedrig zu halten, wie es nach Art des Betriebes möglich ist.“ Außerdem wird für den Arbeitsplatz ein maximal zulässiger Beurteilungspegel von 85 dB(A) angegeben. Falls dieser Wert „nach der betrieblich möglichen Lärminderung zumutbarerweise nicht einzuhalten ist, darf er bis zu 5 dB(A) überschritten werden.“ Lärmpegel von mehr als 90 dB(A) erfordern eine Ausnahmegenehmigung durch die zuständige Behörde.

In der früheren Fassung der Arbeitsstättenverordnung wurden noch zwei weitere Immissionsgrenzwerte von 55 dB(A) und 70 dB(A) z.B. für Büroarbeitsplätze genannt. Diese sind jedoch im Rahmen der „Verschlankung“ der Vorschriften entfallen, um den Unternehmen größere Spielräume zu gewähren. Letztlich muss der Unternehmer nun selbst ermitteln, welche Lärmexposition nach dem Stand der Technik und unter Einbeziehung der arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse bei unterschiedlichen Tätigkeiten anzusetzen ist. Als Orientierungshilfe kann dabei die VDI-Richtlinie 2058 Blatt 3 [6] dienen. Weitere Hinweise erhält die Norm DIN EN ISO 11690-1 [7].

2.3 Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung

Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 [1] ist eine Verordnung nach § 18 Arbeitsschutzgesetz [2] und setzt zwei Europäische Arbeitsschutz-Richtlinien in nationales Recht um (2003/10/EG „Lärm“ [8] und 2002/44/EG „Vibrationen“). Für den Bereich Lärm ergibt sich damit eine Absenkung der bis dahin nach der Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ für Präventionsmaßnahmen gültigen Auslösewerte von 85 dB(A) und 90 dB(A) um 5 dB(A). Darüber hinaus wurden auch maximal zulässige Expositionswerte eingeführt, die die maximale Geräuschbelastung unter dem Gehörschutz beschreiben und unter keinen Umständen überschritten werden dürfen. Die damit gültigen Auslöse- und Expositionswerte sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

	Tages-Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$	Spitzenschalldruckpegel L_{pCpeak}
untere Auslösewerte	80 dB(A)	135 dB(C)
obere Auslösewerte	85 dB(A)	137 dB(C)
maximal zulässige Expositionswerte	85 dB(A)	137 dB(C)

Tabelle 1: Auslösewerte und maximal zulässige Expositionswerte nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [1].

In Abhängigkeit von der Lärmexposition sind vom Unternehmer folgende Maßnahmen zu ergreifen:

- $L_{EX,8h} \geq 80$ dB(A) oder $L_{pCpeak} \geq 135$ dB(C)
 - Beschäftigte informieren und über die Gefahren durch Lärm unterweisen
- $L_{EX,8h} > 80$ dB(A) oder $L_{pCpeak} > 135$ dB(C)
 - Geeignete Gehörschützer bereitstellen
 - Beschäftigten arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen anbieten
- $L_{EX,8h} \geq 85$ dB(A) oder $L_{pCpeak} \geq 137$ dB(C)
 - Lärmbereiche kennzeichnen und Zugang beschränken
 - Beschäftigte müssen Gehörschutz benutzen
 - Regelmäßig Vorsorgeuntersuchung veranlassen (Pflichtuntersuchung)
- $L_{EX,8h} > 85$ dB(A) oder $L_{pCpeak} > 137$ dB(C)
 - Lärmreduzierungsprogramm aufstellen und durchführen

Tabelle 2: Nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [1] erforderliche Maßnahmen

Die wesentlichen Inhalte der neuen Verordnung und die damit verbundenen Aktionen seien hier kurz erläutert:

- **Gefährdungsbeurteilung**
Wie schon in der Einleitung angesprochen, hat der Unternehmer im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu überprüfen, ob eine Lärmgefährdung besteht (§ 3). Dabei ist der Lärm nicht nur unter dem Gesichtspunkt der Gehörgefährdung zu betrachten, sondern auch hinsichtlich „einer sonstigen mittelbaren oder unmittelbaren Gefährdung von Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten“. Damit sind also alle möglichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen oder Unfallgefahren durch Lärm zu betrachten.
- **Unterweisung der Beschäftigten**
Wird einer der unteren Auslösewerte erreicht oder überschritten ($L_{EX,8h} \geq 80$ dB(A) / $L_{pCpeak} \geq 135$ dB), so sind die Beschäftigten über die gewonnenen Ergebnisse und die Gefahren durch Lärm zu informieren.
- **Arbeitsmedizinische Beratung, Vorsorgeuntersuchungen**
Bei Überschreiten der unteren Auslösewerte sollen die Beschäftigten eine allgemeine arbeitsmedizinische Beratung erhalten und haben Anspruch auf eine vorbeugende audiometrische Gehöruntersuchung (§ 11 Abs. 3). Diese kann auch in die Unterweisung eingeschlossen werden. Wird einer der oberen Auslösewerte erreicht oder überschritten, sind regelmäßige Gehör-Vorsorgeuntersuchungen nach dem berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 20 [9] durchzuführen.
- **Kennzeichnung von Lärmbereichen**
Wird einer der oberen Auslösewerte erreicht oder überschritten, liegt ein Lärmbereich vor. Der Betrieb hat die vorhandenen Lärmbereiche zu ermitteln und mit dem entsprechenden Gebotszeichen M03 „Gehörschutz benutzen“ zu kennzeichnen.
- **Technischer Lärmschutz**
Unabhängig von der Höhe der Lärmexposition besteht nach § 7 die Forderung, Lärmbelastungen an Arbeitsplätzen zu vermeiden oder soweit wie möglich zu verringern (Minimierungsgebot). Als Maßstab bei der Entscheidung über erforderliche Lärmschutzmaßnahmen ist jeweils der Stand der Technik zu berücksichtigen, der nach § 2 als „Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen“ definiert ist. Entsprechend den auch schon zuvor geltenden gesetzlichen Regelungen haben technische Maßnahmen Vorrang vor organisatorischen Maßnahmen. Lassen sich damit keine ausreichenden Lärmreduzierungsfolge erzielen, kommen schließlich persönliche Schutzmaßnahmen durch Gehörschutzmittel in Betracht.

- **Lärmreduzierungsprogramm**
Wird einer der oberen Auslösewerte überschritten, hat der Unternehmer ein Programm mit technischen und organisatorischen Lärmreduzierungsmaßnahmen aufzustellen und durchzuführen (§ 7 Abs. 5, siehe auch [10]).

- **Gehörschutz**
Bereits bei Überschreiten eines der unteren Auslösewerte sind den Beschäftigten geeignete Gehörschutzmittel zur Verfügung zu stellen.

Wird einer der oberen Auslösewerte erreicht oder überschritten, hat der Unternehmer dafür zu sorgen, dass die Beschäftigten den Gehörschutz auch tragen.

Der Gehörschutz ist hinsichtlich seiner Schalldämmung so auszuwählen, dass die Gehörbelastung des Beschäftigten (unter dem Gehörschutz!) die maximal zulässigen Expositionswerte von $L_{EX,8h} = 85$ dB(A) bzw. $L_{pCpeak} = 137$ dB nicht überschreitet. Das sollte bei der Auswahl des Gehörschutzes nach der BG-Regel „Einsatz von Gehörschützern“ (BGR 194) [11] gewährleistet sein.

2.4 Geräte- und Produktsicherheitsgesetz

Das Geräte- und Produktsicherheitsgesetz vom 6. Januar 2004 [12], das die EG-Maschinenrichtlinie 98/37/EG und die EG-Produktsicherheitsrichtlinie 2001/95/EG in nationales Recht umsetzt, richtet sich an den Maschinenhersteller. Es enthält hinsichtlich Lärmschutz die allgemeine Forderung, „dass Gefahren durch Lärmemission auf das unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts und der verfügbaren Mittel zur Lärmreduzierung, vornehmlich an der Quelle erreichbare niedrigste Niveau gesenkt werden“. Außerdem müssen in der Betriebsanleitung und in den Verkaufsunterlagen Angaben zur Geräuschemission gemacht werden. Damit erhält der Käufer der Maschine Informationen über das abgestrahlte Geräusch, so dass er die Angebote verschiedener Hersteller hinsichtlich ihrer Geräuschemission vergleichen und ganz gezielt lärmarme Produkte auswählen kann.

Die EG-Maschinenrichtlinie liegt inzwischen in einer neuen Fassung 2006/42/EG [13] vor, die bis zum 29. Juni 2008 in nationales Recht umzusetzen ist. Hinsichtlich Lärmschutz ergeben sich daraus jedoch keine wesentlichen Änderungen. Bei der Geräuschangabe ist danach allerdings schon ab einem Emissionsschalldruckpegel am Arbeitsplatz von 80 dB(A) (bisher ab 85 dB(A)) zusätzlich die Angabe des Schalleistungspiegels erforderlich.

3 Normen und Richtlinien

Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung verweist hinsichtlich Messtechnik auf den Stand der Technik und stellt damit eine Verbindung zu den einschlägigen Messnormen her. Die EG-Lärmschutz-Richtlinie 2003/10/EG [8] bezieht sich hinsichtlich Lärmmessung auf die ISO 1999 [14], die jedoch nur eine relativ grobe Beschreibung der Messmethodik enthält.

Sehr viel detaillierter wird die Lärmmessung am Arbeitsplatz in der ISO 9612 beschrieben, die in den letzten Jahren vollständig überarbeitet wurde und inzwischen als ein Entwurf DIN EN ISO 9612 „Akustik; Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz“ [15] vorliegt. Der Einfachheit halber wird diese Entwurfsfassung hier in der Regel kurz mit ISO 9612 (Entwurf) oder nur mit ISO 9612 bezeichnet.

Bis zur Verabschiedung der Endfassung dieser Norm ist in Deutschland die DIN 45645-2 [16] maßgebend für die Beurteilung der Lärmbelastung an Arbeitsplätzen. Da jedoch die DIN 45645-2 zurückgezogen werden muss, sobald eine entsprechende Europäische Norm (EN) vorliegt und somit das Ende dieser DIN-Norm in der jetzigen Fassung abzusehen ist, empfiehlt es sich, sich schon einmal mit der Messung nach

ISO 9612 vertraut zu machen. Deshalb wird hier die Messung nach diesen beiden Messnormen erläutert, wobei festzustellen ist, dass die in dem neuen ISO-Entwurf 9612 beschriebenen Messstrategien mit den entsprechenden Festlegungen der DIN 45645-2 weitgehend in Einklang sind [17].

Beim Vergleich der beiden Messnormen ist allerdings zu erwähnen, dass die DIN 45645-2 auch die Beurteilung von Geräuschen im Pegelbereich der Belästigung beinhaltet, während die ISO 9612 (Entwurf) nur die Bestimmung des Lärmexpositionspegels im höheren Pegelbereich behandelt. Nach dem Zurückziehen der DIN 45645-2 müsste deshalb eine neue DIN-Norm geschaffen werden, nach der sich z.B. die Geräuschbelastungen an Büroarbeitsplätzen beurteilen lassen.

Im Folgenden sollen die im Zusammenhang mit der Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz bedeutenden Normen und Richtlinien in wenigen Worten beschrieben werden.

- DIN 45641: Mittelung von Schallpegeln. Juni 1991 [18]
Die Norm erläutert verschiedene Verfahren zur Bestimmung des Mittelungspegels. Dabei wird z.B. die Berechnung des Mittelungspegels bzw. des äquivalenten Dauerschallpegels durch Zerlegung einer Arbeitsschicht in mehrere, separat zu erfassende Tätigkeiten beschrieben.
- DIN 45645-2: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen; Teil 2: Geräuschmissionen am Arbeitsplatz. Juli 1997 [16]
Die Norm beschreibt die Durchführung von Geräuschmissionsmessungen an Arbeitsplätzen, wobei drei Genauigkeitsklassen unterschieden werden. Die gewonnenen Ergebnisse erlauben die Beurteilung der Lärmbelastungen sowohl hinsichtlich Gehörgefährdung als auch hinsichtlich Störwirkung und Lästigkeit.
- VDI 2058 Blatt 2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung. Juni 1988 [19]
Diese VDI-Richtlinie behandelt die Entstehung von Hörminderungen und Gehörschäden und gibt Hinweise zur Beurteilung von Geräuschbelastungen. Es wird zwischen akuten Gehörschäden durch sehr hohe kurzzeitige Geräuschbelastungen, z.B. Knalle und Explosionen, und chronischen Gehörschäden durch langjährige Belastungen mit Beurteilungspegeln ab 85 dB(A) unterschieden. Außerdem wird die Beurteilung von Ultraschall und Infraschall kurz angesprochen und es werden hierfür entsprechende Grenzwerte genannt, mit denen sich Beeinträchtigungen vermeiden lassen.
- VDI 2058 Blatt 3: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten. Februar 1999 [6]
Diese VDI-Richtlinie beschreibt ganz allgemein die Wirkung von Lärm auf die Gesundheit, Arbeitssicherheit und Leistungsfähigkeit, insbesondere im nicht Gehör gefährdenden Pegelbereich unter 85 dB(A). Den in der früheren Fassung der Arbeitsstättenverordnung festgelegten Schallpegelstufen von 55, 70 und 85 dB(A) werden Tätigkeitsmerkmale, Belastungs- und Beanspruchungsarten zugeordnet. Als Orientierungshilfe werden beispielhaft Tätigkeiten angegeben, so dass sich einzelnen Arbeitsplätzen jeweils die entsprechenden Grenzwerte zuordnen lassen.
- ISO 1999: Akustik; Bestimmung der Lärmbelastung am Arbeitsplatz und Abschätzung der lärmbedingten Hörminderung. 1990 [14]
Die Norm beschreibt ein Messverfahren zur Bestimmung des Lärmexpositionspegels an Arbeitsplätzen. Besondere Bedeutung kommt dem auf umfangreichen audiometrischen Daten beruhenden empirischen Modell zur Vorhersage von Hörverlustverteilungen für lärmbelastete Populationen zu. Dieses Modell ist anwendbar für Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$ von 75 bis 100 dB(A) und erlaubt Hörverlustprognosen für die Fraktile 0,05 bis 0,95. Für diese

relativ komplizierten Berechnungen steht auf der Internetseite des Institutes für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (BGIA) ein herunterladbares Programm zur Verfügung (www.dguv.de/bgia, Webcode 2004009).

- DIN EN ISO 9612 (Entwurf Juni 2007): Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz; Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 [15]

Die Norm gibt eine detaillierte Beschreibung der messtechnischen Ermittlung des Lärmexpositionspegels an Arbeitsplätzen entsprechend der Genauigkeitsklasse 2. Dabei werden drei Messstrategien unterschieden, die weitgehend mit den entsprechenden Verfahren nach DIN 45645-2 übereinstimmen, dort jedoch nicht so deutlich als Messverfahren nebeneinander gestellt sind. Die Norm enthält einen neuen Ansatz zur Bestimmung der Messunsicherheit, der im Vergleich zur bisherigen Praxis eine Verbesserung darstellt, allerdings auch mit einem größeren Rechenaufwand verbunden ist.

4 Grundbegriffe

Im Zusammenhang mit der Geräuschmessung am Arbeitsplatz sind die nachfolgend erläuterten Grundbegriffe und Definitionen von Bedeutung (siehe auch [20]).

4.1 Schalldruckpegel, Spitzenschalldruckpegel

Der Schalldruckpegel ergibt sich durch Bezug des Schalldruckes p auf den Referenzschalldruck p_0 von $20 \mu\text{Pa}$ entsprechend der folgenden Gleichung:

$$L_p = 10 \cdot \lg \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) \text{ dB} \quad (4.1)$$

mit:

p – gemessener Schalldruck
 $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ (Hörschwelle)

Der Bezugswert $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ entspricht näherungsweise der Hörschwelle bei 1000 Hz.

Der Schalldruck p wird in der Regel als Effektivwert p_{eff} des Wechseldruckes bestimmt. Zur Beschreibung von einzelnen Schallimpulsen kann gegebenenfalls zusätzlich die absolute (positive oder negative) Schalldruckspitze \hat{p} (Scheitelwert) erfasst werden. Der damit entsprechend obiger Gleichung bestimmte Pegelwert wird als Spitzenschalldruckpegel L_{peak} bezeichnet.

4.2 Zeitbewerteter Schalldruckpegel

In der Norm für Schallpegelmessung DIN EN 61672 [21] werden unterschiedliche Anzeigetragheiten durch die in der Tabelle 3 angegebenen Zeitkonstanten definiert.

Zeitbewertung	Zeitkonstante τ	
	Pegelanstieg	Pegelabfall
S – langsam	1 s	
F – schnell	125 ms	
I – Impuls	35 ms	1500 ms

Tabelle 3: Nach DIN EN 61672 definierte Zeitbewertungen

Zur Veranschaulichung des daraus resultierenden Anzeigeverhaltens des Schallpegelmessers zeigt Bild 1 die entsprechenden Schallpegelschriebe für die drei Zeitbewertungen bei einem impulshaltigen Geräusch (Schmiedehammer). So ergibt sich beispielsweise in der Zeitbewertung „S“ (langsam) eine stark gedämpfte Anzeige, die sich relativ leicht ablesen lässt, dagegen in der Zeitbewertung „F“ (schnell) eine deutlich unruhigere

Anzeige, die jedoch die einzelnen Spitzen besser erkennen lässt. Die Zeitbewertung „I“ (Impuls) zeichnet sich durch einen sehr schnellen Pegelanstieg und einen verzögerten Pegelabfall nach jedem einzelnen Schallereignis aus, wodurch die charakteristische „Impulsschleife“ entsteht.

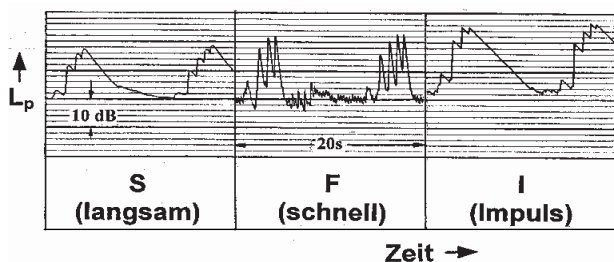


Bild 1: Aufzeichnung des Schalldruckpegels L_p für Lärmimpulse eines Schmiedhammers bei unterschiedlichen Zeitbewertungen

Zusätzlich zu diesen Zeitbewertungen für das gleichgerichtete Signal gibt es die Zeitbewertung „Spitze“ („peak“) zur Erfassung des absoluten Spitzenwertes (Scheitelwertes) eines Schallsignales. Dabei wird die auftretende höchste Pegelspitze nahezu verzögerungsfrei erfasst.

Um die jeweilige Zeitbewertung kenntlich zu machen, kann das Formelzeichen für den Pegel mit dem entsprechenden Index S, F, I oder peak versehen werden, z.B. L_F , L_{peak} .

4.3 Frequenzbewerteter Schalldruckpegel

Zur Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit der Hörempfindung wurden die in Bild 2 dargestellten Frequenzbewertungskurven A, B und C festgelegt (Annäherung an die „Kurven gleicher Lautstärkepegel“ für unterschiedliche Pegelbereiche). Damit werden die nicht so laut empfundenen tieffrequenten und sehr hochfrequenten Geräuschanteile bei der Messung entsprechend gedämpft erfasst.

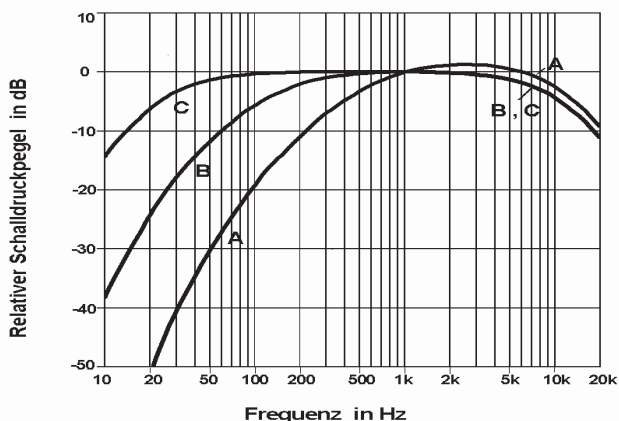


Bild 2: Frequenzbewertungskurven A, B und C

Für die betriebliche Messpraxis ist vor allem die A-Bewertung von Bedeutung. Der A-bewertete Schalldruckpegel dient sowohl zur Beschreibung der Gehörgefährdung als auch der Lästigkeit und Störwirkung von Geräuschen. Daneben wird auch die C-Bewertung mit ihrer in einem weiten Bereich flach verlaufenden Dämpfungscharakteristik genutzt. So wird der Spitzenschalldruckpegel L_{peak} in der Regel als C-bewerteter Pegel L_{Cpeak} gemessen. Darüber hinaus lässt sich durch einen Vergleich des C-bewerteten Pegels mit dem A-bewerteten Pegel eine gewisse Aussage zur Frequenzcharakteristik von Geräuschen treffen, was z.B. im Zusammenhang mit der Auswahl von Gehörschutzmitteln von Bedeutung ist [11].

4.4 Äquivalenter Dauerschallpegel

Der äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} ist der zeitliche Mittelwert eines in einer bestimmten Frequenzbewertung und einer bestimmten Zeitbewertung aufgenommenen Schalldruckpegels $L(t)$, z.B. $L_{AF}(t)$. Er ergibt sich durch Integration nach der folgenden Gleichung:

$$L_{eq} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1 \cdot L(t)} \cdot dt \right] \text{ dB} \quad (4.2)$$

mit:

T – Mittelungszeit

$L(t)$ – zeitbewerteter Schalldruckpegel zur Zeit t

Das damit beschriebene Integral lässt sich grafisch als die Fläche unterhalb eines Pegelschriebes veranschaulichen, entsprechend den schraffierten Flächen im Bild 3. Daraus ist abzulesen, dass man in Abhängigkeit der eingestellten Zeit- und Frequenzbewertung gegebenenfalls unterschiedliche äquivalente Dauerschallpegel erhält:

- Äquivalenter Dauerschallpegel L_{Aeq} : zeitlicher Mittelwert des A-bewerteten Schalldruckpegels in der Zeitbewertung „F“ („schnell“) oder „S“ („langsam“)
 $L_{Aeq} = L_{AFeq} = L_{ASeq}$
- Impuls-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel L_{Aleq} : zeitlicher Mittelwert des A-bewerteten Schalldruckpegels in der Zeitbewertung „I“ (Impuls).

Die Pegelmittelung in den Zeitbewertungen „F“ und „S“ führt bei ausreichend langer Messzeit jeweils zum selben Ergebnis. Wie in Bild 3 veranschaulicht, ergibt sich dagegen in der Zeitbewertung „I“ bedingt durch den verzögerten Pegelabfall bei Impulsgeräuschen und im Pegel schwankenden Geräuschen jeweils ein höherer Mittelwert als in den Zeitbewertungen „F“ und „S“ ($L_{Aleq} \geq L_{Aeq}$).

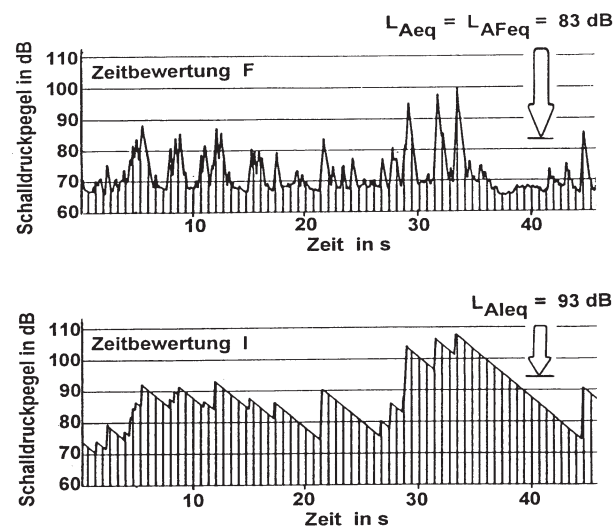


Bild 3: Gegenüberstellung von Pegelschrieben in den Zeitbewertungen „F“ und „I“ für ein und dasselbe Geräusch

4.5 Impulszuschlag

Der Unterschied zwischen dem „Impuls“-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel L_{Aleq} und dem äquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} ist als Impulszuschlag K_I definiert:

$$K_I = L_{Aleq} - L_{Aeq}$$

Der Impulszuschlag fällt je nach Charakter des Impulsgeräusches unterschiedlich hoch aus (siehe z.B. [20]). Bei den meisten in der Industrie üblichen Impulsgeräuschen ergeben sich Impulszuschläge im Bereich von ca. 3 bis 10 dB(A).

Bei orientierenden Messungen (Genauigkeitsklasse 3) kann der Impulszuschlag K_I nach DIN 45645-2 je nach Auffälligkeit der Impulse mit 3 oder 6 dB(A) abgeschätzt werden.

4.6 Tonzuschlag

Zur Beurteilung der Lästigkeit und Störwirkung von Geräuschen ist nach DIN 45645-2 neben dem Impulszuschlag gegebenenfalls noch ein Tonzuschlag anzuwenden.

Der Tonzuschlag ist zum äquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} zu addieren, wenn sich aus dem Geräusch mindestens ein Einzelton deutlich hörbar heraushebt. Er ist je nach Auffälligkeit des Tones mit 3 oder 6 dB(A) anzusetzen; die richtige Entscheidung setzt dabei eine entsprechende Erfahrung voraus.

4.7 Beurteilungspegel

Der Beurteilungspegel ist nach DIN 45645-2 der wesentliche Kennwert zur Beschreibung der Geräuschimmission an einem Arbeitsplatz. Er ist ein Maß für die durchschnittliche Geräuschimmission an einem typischen Arbeitstag bzw. einer typischen Arbeitswoche, wobei jeweils die gesamte Geräuschimmission auf die festgelegte Bezugszeit von 8 h (Arbeitstag) bzw. 40 h (Arbeitswoche) bezogen wird. Der Beurteilungspegel wird nach DIN 45645-2 als A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel bestimmt und gegebenenfalls mit Zuschlägen für Impulshaltigkeit bzw. Tonhaltigkeit versehen.

4.8 Lärmexpositionspegel

Der Lärmexpositionspegel nach ISO 1999 [14] bzw. DIN EN ISO 9612 (Entwurf) [15] ergibt sich aus der über den repräsentativen Arbeitstag bzw. die repräsentative Arbeitswoche gemittelten Geräuschimmission bezogen auf die Zeitdauer von 8 h (Arbeitstag) bzw. 40 h (Arbeitswoche). Der Lärmexpositionspegel wird als A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel bestimmt und entspricht damit dem Beurteilungspegel nach DIN 45645-2 ohne Zuschläge.

4.9 Genauigkeitsklasse

In der Norm für Schallpegelmessung DIN EN 61672 [21] werden Messgeräte in zwei Genauigkeitsklassen 1 und 2 beschrieben. Nach älteren Schallmessgerätenormen gab es drei Geräteklassen. Die DIN 45645-2 [16] unterscheidet bei der Bestimmung des Beurteilungspegels die Genauigkeitsklassen 1, 2 und 3, wobei die Klasse 1 jeweils der höchsten Genauigkeit und die Klasse 3 der geringsten Genauigkeit entspricht. Den Genauigkeitsklassen des Mess- und Beurteilungsverfahrens lassen sich nach DIN 45645-2 die Begriffe „Präzisionsmessung“ (Klasse 1), „Betriebsmessung“ (Klasse 2) und „Orientierungsmessung“ (Klasse 3) zuordnen.

Der Normentwurf DIN EN ISO 9612 beschreibt die Bestimmung des Lärmexpositionspegels entsprechend der Genauigkeitsklasse 2 und verwendet dafür den Begriff „Ingenieurverfahren“.

5 Messgeräte

Für die Ermittlung der Lärmexposition am Arbeitsplatz lassen sich sowohl Schallpegelmessung nach DIN EN 61672 [21] als auch Personen-Schallexposimeter/Lärmdosimeter nach DIN EN 61252 [22] einsetzen.

Nach DIN EN ISO 9612 (Entwurf) sind bevorzugt Schallpegelmessung bzw. Dosimeter zu verwenden, die den Anforderungen der Klasse 1 nach DIN EN 61672-1 entsprechen. Für Geräusche mit dominierenden hohen Frequenzen oder Messungen bei sehr niedrigen Temperaturen ist die Benutzung eines entsprechend hochwertigen Messgerätes zwingend erforderlich. Der eingesetzte Kalibrator muss den Anforderungen der Klasse 1 nach DIN EN 60942 [23] entsprechen.

Nach DIN 45645-2 [16] besteht die Vorgabe, dass das eingesetzte Messgerät wie auch der Kalibrator mindestens der Genauigkeitsklasse des Mess- und Beurteilungsverfahrens entspricht. Somit ließen sich z.B. für Messungen nach der Genauigkeitsklasse 2 sowohl Schallpegelmessung der Klasse 2 als auch der Klasse 1 einsetzen.

Die verschiedenen Vorgaben hinsichtlich der Genauigkeitsklasse der Messgeräte sind in der Tabelle 4 zusammengestellt.

	Anforderungen nach DIN EN ISO 9612	Anforderungen nach DIN 45645-2		
		Präzisionsmessung (Klasse 1)	Betriebsmessung (Klasse 2)	Orientierungsmessung (Klasse 3)
Schallpegelmessung nach DIN EN 61672	Klasse 1* (vorzugsweise) Klasse 2	Klasse 1	Klasse 2 oder besser	Klasse 3 oder besser
Personenschall-exposimeter nach DIN EN 61252	vorzugsweise entsprechend DIN EN 61672 Klasse 1*	** geeignet	geeignet	geeignet
Kalibrator nach DIN EN 60942	Klasse 1	Klasse 1	Klasse 2 oder besser	Klasse 2 oder besser

* erforderlich bei dominierenden hohen Frequenzen

** bei Absicherung durch Vergleichsmessungen

Tabelle 4: Geforderte Genauigkeitsklassen für Messgeräte

Die eingesetzten Schallmessgeräte sind mindestens alle zwei Jahre durch ein qualifiziertes Laboratorium auf Einhaltung der in den entsprechenden Messgerätenormen festgelegten Anforderungen zu überprüfen. Die DIN EN ISO 9612 (Entwurf) fordert für den Kalibrator sogar eine jährliche Überprüfung.

Bei bestimmten Messaufgaben kann die Verwendung eines amtlich geeichten Schallmessgerätes gesetzlich vorgeschrieben sein, z.B. wenn es sich um öffentliche Überwachungsaufgaben oder Gutachten im Rahmen von gerichtlichen Verfahren handelt (Eichgesetz § 2, Eichordnung § 3).

6 Erfassen der Geräuschimmission

6.1 Allgemeines

Bei der Geräuschimmissionsmessung werden alle auf einen bestimmten Ort oder eine Person einwirkenden Geräusche erfasst und bewertet. Dabei können sich z.B. die Geräusche mehrerer Lärmquellen und die Schallreflexionen innerhalb des Raumes aufsummieren. Als wichtigster Kennwert zur Beurteilung der Gehörgefährdung wird in der Regel der Lärmexpositionspegel bestimmt, der die Geräuschimmission für einen repräsentativen Arbeitstag oder eine Arbeitswoche beschreibt (siehe Abschnitt 8). Um eine möglicherweise unmittelbar gehörschädigende Lärmbelastung durch extrem hohe Schallimpulse zu beurteilen, wird gegebenenfalls der Spitzenschalldruckpegel L_{Cpeak} erfasst.

6.2 Orts- und personenbezogene Beurteilung

Nach ISO 1999 [14] und ISO 9612 (Entwurf) [15] wird die Geräuschimmission jeweils personenbezogen betrachtet. Der zu bestimmende Lärmexpositionspegel ist danach ein Kennwert, um die auf einen einzelnen Beschäftigten oder eine Gruppe von gleichartig belasteten Beschäftigten einwirkende Geräuschimmission zu beschreiben.

Die in diesen Normen dargestellte Vorgehensweise zur Bestimmung des personenbezogenen Lärmexpositionspegels lässt sich jedoch ebenso für eine ortsbezogene Beurteilung anwenden, indem man die auf einen festen Ort bzw. Arbeitsplatz einwirkende Geräuschimmission so erfasst, als wolle man die Belastung für eine Person ermitteln, die sich dort über die gesamte Arbeitsschicht aufhält.

Je nach Aufgabenstellung kann es sinnvoll sein, die Geräuschimmission personenbezogen oder ortsbezogen zu betrachten und dementsprechend einen personenbezogenen und einen ortsbezogenen Lärmexpositionspegel zu unterscheiden.

Ortsbezogener Lärmexpositionspegel:

Der ortsbezogene Lärmexpositionspegel beschreibt die auf einen festen Ort (Arbeitsplatz) oder einen Bereich einwirkende Geräuschimmission, unabhängig davon, ob sich dort Beschäftigte aufhalten oder nicht.

Die Ermittlung des ortsbezogenen Lärmexpositionspegels empfiehlt sich z.B. als Grundlage für die Festlegung von Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [1] nicht so eindeutig ausgedrückt wird.

Nach der inzwischen zurückgezogenen Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ sind Lärmbereiche als Bereiche definiert, in denen der ortsbezogene Beurteilungspegel 85 dB(A) erreicht oder überschreitet (§ 2 Abs. 3).

Personenbezogener Lärmexpositionspegel:

Der personenbezogene Lärmexpositionspegel beschreibt die Geräuscheinwirkung auf einen Beschäftigten, der sich während der Arbeitsschicht z.B. auch in verschiedenen Bereichen aufhalten kann.

Bei der personenbezogenen Beurteilung wird also die individuelle Geräuschbelastung erfasst, was z.B. im Rahmen der Begutachtung eines Lärmschwerhörigkeitsfalles gefragt ist. Auch für Beschäftigte, die bei ihrer Arbeit an verschiedenen Orten lärmintensive Tätigkeiten ausüben, ohne jedoch in einem Lärm-bereich zu arbeiten, ist der personenbezogene Lärmexpositionspegel von Bedeutung, um damit eine mögliche Gehörgefährdung zu erkennen. So ergeben sich bei ortsveränderlichem Einsatz gegebenenfalls keine Lärmbereiche, weil an den verschiedenen Arbeitsorten (ortsbezogen) nur kurzzeitig hohe Lärmpegel entstehen. Als Beispiel sei hier ein Heizungsinstallateur genannt, der auf einer Baustelle in verschiedenen Räumen die Konsolen für Heizkörper bohrt, aber zu keiner Zeit in einen Lärmbereich kommt (ortsbezogen). Für ihn selbst (personenbezogen) ergibt sich jedoch durch die langzeitige Geräuschbelastung eine Gehörgefährdung.

6.3 Ortsfeste und personengebundene Messung

Orientiert an der Positionierung des Mikrophones kann man zwischen der ortsfesten und personengebundenen Messung unterscheiden:

- Ortsfeste Messung: Messung mit dem Handschallpegelmessgerät an einem bestimmten Ort, gegebenenfalls unter Nachführung des Mikrophones entsprechend den Bewegungen des Beschäftigten.
- Personengebundene Messung: Messung mit einem vom Beschäftigten am Körper getragenen Personenschallexposimeter.

Unabhängig davon, ob eine ortsbezogene oder personenbezogene Beurteilung gefragt ist, kann die Messung ortsfest oder personengebunden durchgeführt werden. Beispielsweise lässt sich die personenbezogene Lärmexposition für einen mobil eingesetzten Beschäftigten entweder durch eine personengebundene Messung mit einem Lärmdosimeter bestimmen oder aus den an verschiedenen Einsatzorten ortsfest gemessenen Geräuschimmissionen berechnen.

6.3.1 Ortsfeste Messung

In den meisten betrieblichen Anwendungsfällen wird man wohl mit einem Handschallpegelmessgerät ortsfest messen, um damit relativ schnell die an einem Arbeitsplatz oder in einem bestimmten Bereich gegebene Lärmbelastungssituation zu erfassen und mit entsprechenden Auslösewerten zu vergleichen. Im Idealfall sollte diese Messung in Abwesenheit des Beschäftigten durchgeführt werden, so dass er das Ergebnis nicht durch Schallreflexionen oder Abschattungseffekte seines Körpers beeinflusst. Das Mikrofon sollte dabei an der üblichen Position des Kopfes in Höhe der Augen gehalten und mit der vom Hersteller angegebenen Bezugsrichtung (in der Regel 0°, d.h. senkrecht zur Membrane) in Blickrichtung gerichtet werden. Als Anhaltswerte für die Mikrofonhöhe werden in der ISO 9612 folgende Maße genannt:

- 1,55 m ($\pm 0,075$ m) über den Boden für stehende Personen
- 0,8 m ($\pm 0,05$ m) über Sitzfläche für sitzende Personen.

Falls sich der Beschäftigte an dem Arbeitsplatz aufhalten muss, z.B. um eine Maschine zu bedienen, ist das Mikrofon in Ohrnähe seitlich des Kopfes zu positionieren. Die ISO 9612 gibt hierfür einen Abstand von 0,1 bis 0,4 m zum Ohr vor. Bei unterschiedlich hoher Belastung beider Ohren, z.B. auf Grund eines einseitig in Ohrnähe gehaltenen Handwerkzeuges, sollte die Messung auf der Seite des höher belasteten Ohres erfolgen.

Erfahrungsgemäß bewegen sich die Beschäftigten an vielen ortsfesten Arbeitsplätzen in einem größeren Bereich, so dass sich eine mittlere Mikrofonposition nicht ohne weiteres festlegen lässt. In solchen Fällen empfiehlt es sich, das Mikrofon von Hand den Bewegungen des Beschäftigten nachzuführen und die daraus resultierenden örtlichen Pegelschwankungen zeitlich zu mitteln.

Falls sich der Beschäftigte bei seiner Arbeit über einen größeren Bereich bewegt, kann es schwierig sein, seine Lärmbelastung mit einem handgehaltenen Schallpegelmessgerät zu erfassen. Sollte es nicht möglich sein, dabei den Abstand zum Ohr des Beschäftigten von maximal 0,4 m einzuhalten, empfiehlt die ISO 9612 die im Folgenden beschriebene personengebundene Messung.

6.3.2 Personengebundene Messung

Bei der personengebundenen Messung wird das Mikrofon am Körper des zu untersuchenden Beschäftigten befestigt und üblicherweise mit Hilfe eines ebenfalls am Körper getragenen Personenschallexposimeters aufgezeichnet. Die personengebundene Messung bietet sich vor allem für mobil eingesetzte Beschäftigte mit vielfältigen unterschiedlichen Tätigkeiten und für die Erfassung der Lärmexposition über eine lange Zeitdauer an.

Nach DIN 45645-2 kommen folgende Punkte für die Mikrofonbefestigung in Betracht:

- Auf der Schulter in nicht mehr als 30 cm Abstand zum Ohr,
- am Helm über dem Ohr,
- direkt am Ohr.

Die ISO 9612 gibt folgende Mikrofonposition vor:

- Die höchste Stelle auf der Schulter in mindestens 0,1 m Abstand zum Ohr, Mikrofonposition möglichst 4 cm über der Schulter.

Die Mikrofonposition auf der Schulter hat sich in der Praxis als besonders günstig erwiesen. Um den nach ISO 9612 empfohlenen Abstand der Mikrofonmembran über der Schulter einzuhalten und die genaue Position des Mikrofones an der höchsten Stelle auf der Schulter einstellen zu können, kann man z.B. ein spezielles Gurtsystem einsetzen, das die Fixierung des Mikrofones mit Hilfe einer Klettverbindung ermöglicht [24].

Bei der personengebundenen Erfassung der Lärmexposition mit Hilfe von Schalldosimetern ist zu beachten, dass sich größere Messunsicherheiten ergeben können, z.B. auf Grund von Schallreflexionen und Abschattungen durch den Körper des Beschäftigten. Das gilt insbesondere für hochfrequenten Lärm und kleine Lärmquellen in geringem Abstand zum Ohr. Deshalb erfordert diese Messmethode eine besondere Sorgfalt, möglichst eine fortlaufende Beobachtung des Beschäftigten und eine spätere Überprüfung der Ergebnisse auf Plausibilität (siehe [24]).

6.4 Kalibrierung

Unmittelbar vor und nach einer Messreihe muss das eingesetzte Messgerät nach der Anleitung des Herstellers kalibriert werden. Die ISO 9612 verlangt jeweils eine akustische Prüfung der Messkette einschließlich Mikrofon mit einem Kalibrator der Klasse 1 und lässt für zwei Kalibrierungen an einem Messtag eine maximale Abweichung von 0,5 dB zu. Bei einer größeren Abweichung sind die Messergebnisse ungültig.

6.5 Erfassen der Messgrößen

6.5.1 Erfassen des äquivalenten Dauerschallpegels L_{pAeq}

Als wesentliche Messgröße ist in der Regel der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel L_{pAeq} zu erfassen und zwar – je nach Messstrategie – für eine einzelne Tätigkeit, für einen als Stichprobe ausgewählten Zeitabschnitt einer Arbeitsschicht oder für einen ganzen Arbeitstag. Der äquivalente Dauerschallpegel L_{pAeq} lässt sich mit Hilfe eines integrierenden Schallpegelmessers nach DIN EN 61672 [21] bzw. eines Personenschallexposimeters nach DIN EN 61252 [22] erfassen und unmittelbar als Ergebnis ablesen. Es empfiehlt sich, das Messgerät dabei auf die Zeitbewertung „F“ (schnell) einzustellen, falls eine entsprechende Auswahl möglich ist. Die Zeitbewer-

tung „S“ (langsam) sollte bei ausreichend langer Messzeit zum selben Ergebnis führen.

Die Messdauer sollte jeweils lange genug sein, um den mittleren Schalldruckpegel des betrachteten Geräusches bzw. Geräuschabschnittes zu erfassen, d.h. die Messung muss sich nicht über die gesamte Zeitdauer des betrachteten Geräuschabschnittes erstrecken (siehe auch Abschnitt 10.1):

- Bei nahezu konstanten Geräuschen reichen erfahrungsgemäß Messzeiten im Bereich von 15 s.
- Bei periodisch schwankenden Geräuschen sollte die Messung mindestens einen Geräuschzyklus oder besser mehrere vollständige Geräuschzyklen erfassen.
- Bei zeitlich zufällig schwankenden Geräuschen können relativ lange Messdauern erforderlich sein, die sich gegebenenfalls über den gesamten Geräuschabschnitt erstrecken müssen.

Die Messung kann jeweils beendet werden, wenn erkennbar ist, dass sich der angezeigte äquivalente Dauerschallpegel L_{pAeq} durch alle zu erwartenden weiteren Geräuschbeiträge nicht mehr nennenswert ändert. Dies gilt z.B. bei einer über mindestens 5 min praktisch unveränderten Anzeige des L_{pAeq} -Wertes, falls in der folgenden Zeit keine wesentliche Veränderung der Belastungssituation zu erwarten ist. Zur Absicherung des Ergebnisses empfiehlt es sich, die Messung mindestens einmal zu wiederholen.

Abweichend von diesen Empfehlungen sind in ISO 9612 für die Erfassung der Lärmbelastung innerhalb einer Arbeitsaufgabe/Tätigkeit etwas längere Messdauern und mindestens zwei Wiederholungsmessungen vorgesehen (siehe Abschnitt 9.2).

6.5.2 Erfassen der Spitzenschalldruckpegels L_{pCpeak}

Neben dem Lärmexpositionspegel $L_{Ex,8h}$ ist in der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung als Auslösewert gegebenenfalls auch der Spitzenschalldruckpegel L_{pCpeak} zu beachten (siehe Abschnitt 2.3). Das ist allerdings nur dann relevant, wenn an dem Arbeitsplatz besonders laute Lärmimpulse zu erwarten sind, die möglicherweise den gegebenen unteren Auslösewert von 135 dB(C) erreichen oder überschreiten. Das gilt z.B. für Schmiedehämmer, Bolzenwerkzeuge oder Waffenlärm. Mit der Erfassung des Spitzenschalldruckpegels L_{pCpeak} soll die Gefahr einer unmittelbaren Gehörschädigung durch extrem hohe Lärmimpulse erkannt werden. Dabei liegen die Auslösewerte noch in einem Bereich, der deutlich unter der Belastungsgrenze liegt, bei der man nach VDI 2058 Blatt 2 [19] bei Einzelereignissen mit akuten Gehörschäden rechnen muss.

Zur Bestimmung des Spitzenschalldruckpegels L_{pCpeak} muss das Schallmessgerät auf die Zeitbewertung „peak“ (Spitze) und auf die Frequenzbewertung „C“ eingestellt werden. Viele moderne Schallmessgeräte können diesen Spitzenschalldruckpegel parallel zum äquivalenten Dauerschallpegel L_{pAeq} erfassen.

7 Arbeitsanalyse, repräsentative Arbeitsschicht

7.1 Repräsentative Arbeitsschicht

Die Erfassung der längerfristig typischen Lärmexposition bzw. der Lärmexposition für den repräsentativen Arbeitstag setzt eine sorgfältige Arbeitsanalyse voraus. Von dem Ergebnis der Arbeitsanalyse hängt ab, welche Messstrategie sinnvoller Weise anzuwenden ist. Je nach gewählter Messstrategie ist gegebenenfalls ein größerer Aufwand für die Arbeitsanalyse oder für die Durchführung der Messungen erforderlich, wie in den folgenden Abschnitten erläutert wird.

Ziel der Arbeitsanalyse ist die Beschreibung des repräsentativen Arbeitstages einschließlich aller Arbeitsphasen und der üblichen Pausen. Dabei ist darauf zu achten, dass alle Ereignisse, die zur Lärmbelastung beitragen, miterfasst werden, also

z.B. auch einzelne kurzzeitige Belastungen mit hohen Pegeln oder einzelne Lärmimpulse.

Zur Erfassung des repräsentativen Arbeitstages empfiehlt es sich, neben dem Beschäftigten selbst auch die Vorgesetzten zu befragen. Gegebenenfalls lassen sich vorhandene Arbeitsablaufstudien heranziehen oder die Zeiten für einzelne Abschnitte der Arbeitsschicht unmittelbar messen.

Zur Beschreibung des repräsentativen Arbeitstages sind nach ISO 9612 (Entwurf) folgende Inhalte zu benennen:

- Arbeitsaufgaben (Inhalt und Dauer),
- Hauptlärmquellen und laute Arbeitsbereiche,
- Arbeitsabläufe und alle für die Lärmbelastung relevanten Ereignisse (hohe Pegel bzw. lange Pausen).

Darüber hinaus soll die laufende Produktion z.B. durch folgende Angaben genauer beschrieben werden:

- Bearbeitetes Material,
- Werkstückdicke,
- Materialmenge,
- Maschineneinstellung.

Die im Rahmen der Arbeitsanalyse ermittelte Mittagspause sowie andere offizielle Arbeitspausen kann man in der Regel als lärmfreie Phasen annehmen. Deshalb kann man die Messung in diesen Pausen unterbrechen und muss diese Phasen bei der Berechnung des Lärmexpositionspegels nicht berücksichtigen.

7.2 Tages- und Wochen-Lärmexpositionspegel

Um den Messaufwand im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu reduzieren, lassen sich gegebenenfalls Gruppen von Beschäftigten mit gleicher Lärmexposition bilden. Das können z.B. Gruppen mit gleichartigen Tätigkeiten oder mit Aufenthalt in einem bestimmten Bereich mit gleichartiger Lärmexposition sein.

Tages-Lärmexpositionspegel:

Nach der Ermittlung des repräsentativen Arbeitstages lässt sich dafür der Tages-Lärmexpositionspegel bestimmen, indem man die Geräuschmission über die entsprechende typische Arbeitsschicht mittelt und auf die festgelegte Bezugszeit von 8 h bezieht (siehe Abschnitt 9.3). Der Tages-Lärmexpositionspegel ergibt sich dann nach der folgenden Gleichung:

$$L_{EX,8h} = L_{pAeq,T_e} + 10 \lg \left[\frac{T_e}{T_0} \right] \text{ dB} \quad (7.1)$$

dabei ist:

- L_{pAeq,T_e} - A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel der typischen Arbeitsschicht
- T_e - effektive Zeitdauer des Arbeitstages;
- T_0 - die Bezugszeitdauer, $T_0 = 8 \text{ h}$.

Wochen-Lärmexpositionspegel:

Falls die Lärmexposition von Tag zu Tag so stark schwankt, dass sich keine typische Lärmexposition für den Arbeitstag angeben lässt, sollte die Lärmexposition nach ISO 1999 und ISO 9612 (Entwurf) über eine Woche gemittelt und auf 40 Stunden bezogen werden (siehe Abschnitt 9.3). Dies gilt z.B. für Beschäftigte, die von Tag zu Tag in verschiedenen Bereichen eingesetzt sind oder nur an einzelnen Tagen der Woche lärmbelastet sind.

Da die Lärmexposition an den meisten Arbeitsplätzen von Tag zu Tag mehr oder weniger stark schwankt und schon die Festlegung eines repräsentativen Arbeitstages genau genommen eine Mittelung über mehrere Arbeitstage bedeutet, ist es unverständlich, dass die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung die Anwendung des Wochen-Lärmexpositionspegels nur in besonderen Fällen und auf Antrag des Unternehmers bei der zuständigen Behörde zulässt (§ 15 Abs. 2).

Alternativ bietet sich nach der ISO 9612 (Entwurf) die Möglichkeit, dass man den repräsentativen Arbeitstag als die über eine Woche gemittelte Lärmexposition definiert. Im Grunde entspricht auch die in ISO 9612 als Strategie 3 beschriebene Ganztags-Messmethode einer Pegelmittelung über mehrere Tage, also näherungsweise einer Bestimmung des Wochen-Lärmexpositionspegels. Mit dieser in Abschnitt 10 der ISO 9612 beschriebenen Messmethode wird der Tages-Lärmexpositionspegel als Mittelwert über mindestens drei Messtage berechnet. Wie bereits angesprochen erfordert eine Beurteilung des Hörschadensrisikos nach ISO 1999 eine Bestimmung des Wochen-Lärmexpositionspegels, wenn die Lärmexposition von einem Arbeitstag zum anderen erheblich schwankt. Auch im Zusammenhang mit der Begutachtung von Lärmschwerhörigkeitsfällen [25] empfiehlt sich bei einer derartigen Belastungssituation die Bestimmung des Wochen-Lärmexpositionspegels – zumindest als zusätzlichen Kennwert, der die durchschnittliche berufliche Exposition in der entsprechenden Zeit beschreibt.

8 Messstrategien

Die ISO 9612 (Entwurf) [15] beschreibt drei Messstrategien zur Bestimmung des Lärmexpositionspegels, die letztlich das Ziel haben, die Lärmbelastung für den repräsentativen Arbeitstag zu bestimmen. Diese Messstrategien sind weitgehend mit den entsprechenden Vorgaben der DIN 45645-2 [16] in Einklang. Der ISO-Normentwurf stellt die Messstrategien jedoch deutlicher als alternative Verfahren nebeneinander, erläutert ihre Vor- und Nachteile und gibt Empfehlungen für die Anwendung der einzelnen Verfahren. Da die DIN-Norm ohnehin nach der Verabschiedung der ISO 9612 in der Endfassung zurückgezogen werden muss, wird hier die Vorgehensweise entsprechend der ISO-Norm beschrieben, wobei jeweils auf gegebenenfalls abweichende Festlegungen in der DIN 45645-2 hingewiesen wird. Nach der ISO 9612 (Entwurf) sind folgende Messstrategien zu unterscheiden:

- Tätigkeitsbezogene Messungen (Strategie 1),
- berufsbildbezogene Messungen (Strategie 2),
- Ganztags-Messungen (Strategie 3).

8.1 Tätigkeitsbezogene Messungen (Strategie 1)

Das in Deutschland wohl am weitesten verbreitete Messverfahren an Arbeitsplätzen wird in ISO 9612 (Entwurf) als Strategie 1 bzw. tätigkeitsbezogene Messung beschrieben. Dazu sind die Tätigkeiten eines Arbeitstages genau zu analysieren, so dass die Arbeitsschicht in mehrere typische Tätigkeiten mit in sich gleichartiger Lärmexposition zerlegt werden kann. Der Lärmexpositionspegel kann durch separate Messung für die einzelnen Tätigkeiten unter Berücksichtigung der jeweiligen Zeitanteile berechnet werden (siehe Abschnitt 9.3)

Dieses Verfahren hat den wesentlichen Vorteil, dass man in der Regel mit relativ kurzen Messzeiten für die einzelne Tätigkeit auskommt. Andererseits kann gegebenenfalls ein hoher Aufwand nötig sein, um die Arbeitsplatzsituation zu analysieren und die Zeitanteile für die zu berücksichtigenden Tätigkeiten mit ausreichender Sicherheit zu ermitteln.

Das Verfahren lässt sich in der Regel auch dann anwenden, wenn am Tage der Messung von der repräsentativen Situation abweichende Bedingungen vorliegen. So können z.B. die Zeitdauern der einzelnen Tätigkeiten basierend auf entsprechenden Erhebungen als längerfristig typische Werte eingesetzt oder bestimmte Belastungssituationen durch kurzzeitige Simulationen erfasst und berücksichtigt werden.

8.2 Berufsbildbezogene Messungen (Strategie 2)

Als Strategie 2 bzw. berufsbildbezogene Messungen wird in ISO 9612 ein Stichprobenverfahren beschrieben, das auf einem entsprechenden Vorschlag von französischer Seite basiert.

Danach ist die Lärmexposition für eine möglichst homogene Gruppe eines bestimmten Berufsbildes durch zeitlich zufällige Stichprobenmessungen zu erfassen. Ein Stichprobenverfahren, wie es auch in der DIN 45645-2 beschrieben wird, bietet sich vor allem für Berufsbilder mit vielfältigen Aufgaben von unbekannter Dauer an, weil sich dabei entsprechende Teilzeiten nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand ermitteln lassen. Man kann sich eine aufwändige Analyse der Arbeitsplatzsituation sparen, muss jedoch mit einem hohen Aufwand für die Durchführung der Messungen rechnen.

8.3 Ganztags-Messungen (Strategie 3)

Nach der in ISO 9612 als Strategie 3 bzw. Ganztags-Messungen bezeichneten Messmethode ist die Lärmexposition durch Langzeitmessungen über mehrere möglichst vollständige Arbeitsschichten zu erfassen. Die ausgewählten Arbeitstage sollten repräsentativ für den betrachteten Arbeitsplatz sein. Diese Strategie wird vor allem für mobil eingesetzte Beschäftigte mit vielfältigen unterschiedlichen Tätigkeiten empfohlen. Da man diese Beschäftigten wohl kaum über die gesamte Zeit mit einem Handschallpegelmessgerät verfolgen kann, erfordert dieses

Verfahren in der Regel personengebundene Messungen mit Schalldosimetern.

Obwohl die Strategie 3 in DIN 45645-2 nicht so explizit als eigenes Verfahren beschrieben wird, hat sich dieses Verfahren in ähnlicher Form in der betrieblichen Praxis schon lange bewährt. So wird diese Messmethodik vom Institut für Arbeitsschutz – BGIA seit mehr als 20 Jahren erfolgreich zur Erfassung der Lärmbelastungen in Bauberufen eingesetzt [26].

8.4 Vergleich der drei Messstrategien

Wie in den vorherigen Abschnitten erläutert, weisen die hier beschriebenen Strategien jeweils spezifische Vor- und Nachteile auf. Die Tabelle 5 gibt einen Überblick, in welchen Fällen die einzelnen Strategien anwendbar und wann sie besonders zu empfehlen sind. Danach bietet sich die Strategie 1 – tätigkeitsbezogene Messung – immer dann an, wenn sich die Arbeitsschicht in eine überschaubare Anzahl von Teilzeiten/ Tätigkeiten zerlegen lässt. Falls dies wegen der vielfältigen Tätigkeiten mit unbekannter Dauer nicht möglich ist, kommen die als Strategie 2 beschriebenen berufsbildbezogenen Stichprobenmessungen in Betracht. Bei mobilen Arbeitsplätzen mit einer großen Zahl an Tätigkeiten sind schließlich Ganztags-Messungen entsprechend der Strategie 3 zu empfehlen.

Arbeitsplatz	Arbeitsaufgabe	Strategie		
		1	2	3
		Tätigkeitsbezogene Messungen	Berufsbildbezogene Messungen	Ganztagsmessungen
fest	einfach oder einzelne	✓*		
	komplex oder vielfältig	✓*	✓	✓
mobil	vorhersehbarer Arbeitsablauf, kleine Zahl an Tätigkeiten	✓*	✓	✓
	Vorhersehbarer Arbeitsablauf, große Zahl an Tätigkeiten oder komplexer Arbeitsablauf	✓	✓	✓*
	unvorhersehbarer Arbeitsablauf		✓	✓*
fest oder mobil	vielfältige Tätigkeiten mit unbekannter Dauer		✓*	✓
	keine vorgegebenen Tätigkeiten		✓*	✓

✓ – Strategie ist geeignet
* – empfohlene Strategie

Tabelle 5: Anwendungsmöglichkeiten und -empfehlungen für die drei Messstrategien in Anlehnung an ISO 9612 (Entwurf)

9 Bestimmung des Lärmexpositionspegels durch tätigkeitsbezogene Messungen

Wegen der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der tätigkeitsbezogenen Messmethode und der damit verbundenen besonderen Bedeutung für die betriebliche Praxis soll dieses Verfahren hier ausführlich behandelt und anhand von Beispielen verdeutlicht werden.

9.1 Zerlegung der Arbeitsschicht in Tätigkeiten

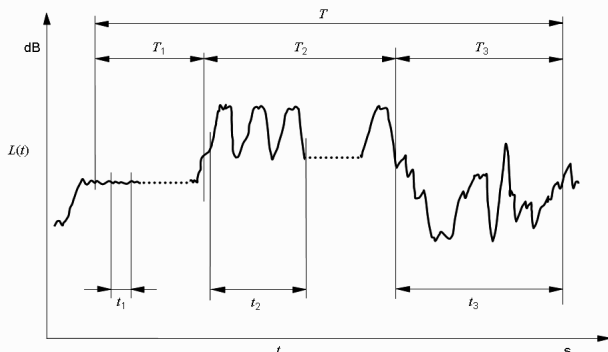
Wie bereits erläutert, erfordert die tätigkeitsbezogene Messmethode (Strategie 1) eine besonders sorgfältige Arbeitsanalyse (siehe Abschnitt 7), lässt sich andererseits aber mit einem relativ geringen Messaufwand durchführen. Die tätigkeitsbezogene Methode ist immer dann zu empfehlen, wenn sich die

typische Arbeitsschicht in eine oder mehrere eindeutig zu definierende Tätigkeiten mit in sich gleichartiger Geräuschimmission unterteilen lässt.

Das Bild 4 zeigt ein Beispiel für eine entsprechende Zerlegung einer Arbeitsschicht in einzelne Tätigkeiten. Dieses ursprünglich aus der DIN 45641 [18] stammende Bild wurde von der ISO 9612 (Entwurf) in leicht veränderter Form übernommen, weil es die Strategie 1 besonders gut veranschaulicht. Bei der hier beschriebenen Zerlegung der Arbeitsschicht in einzelne Tätigkeiten ist zu beachten, dass dabei alle für die Lärmbelastung relevanten Beiträge der typischen Arbeitsschicht bzw. des repräsentativen Arbeitstages berücksichtigt werden, also gegebenenfalls auch kurzzeitige Belastungen mit hohen Pegeln. Insbesondere bei Tätigkeiten mit hohen Schalldruckpegeln kommt es auf die sorgfältige Ermittlung der entsprechenden Zeitdauer T_m für die Tätigkeit m an, da diese Tätigkeiten einen

wesentlichen Anteil an der gesamten Lärmexposition haben können. Falls für die Zeitdauern T_m für eine Tätigkeit unterschiedliche Werte ermittelt werden, ist daraus nach ISO 9612 der arithmetische Mittelwert zu berechnen.

Die Mittagspause und gegebenenfalls festgelegte weitere offizielle Pausen kann man in der Regel als separate Phasen ohne Lärmexposition ermitteln, so dass diese Pausen bei der Berechnung des Lärmexpositionspegels nicht berücksichtigt werden müssen.



- T Arbeitsschichtdauer
- T₁ Dauer von Tätigkeit 1
- T₂ Dauer von Tätigkeit 2
- T₃ Dauer von Tätigkeit 3
- t₁ Messdauer innerhalb der Tätigkeit 1
- t₂ Messdauer innerhalb der Tätigkeit 2
- t₃ Messdauer innerhalb der Tätigkeit 3

Bild 4: Zerlegung einer Arbeitsschicht in drei einzelne Tätigkeiten

Die Zerlegung in einzelne Tätigkeiten ist sowohl für die ortsbezogene als auch für die personenbezogene Beurteilung anwendbar. Bei der ortsbezogenen Beurteilung sind die auf einen bestimmten Ort einwirkenden Geräusche in entsprechenden Arbeitsphasen bzw. Tätigkeiten mit in sich gleichartiger Geräuschmission zu zerlegen. Bei der personenbezogenen Beurteilung können sich die verschiedenen Tätigkeiten z.B. auch durch Einsatz an unterschiedlichen Maschinen in verschiedenen Bereichen des Betriebes ergeben.

9.2 Erfassen der Lärmexposition für die einzelnen Tätigkeiten

Die Geräuschmission für die einzelne Tätigkeit bzw. Arbeitsphase lässt sich vielfach durch eine relativ kurze Messung innerhalb dieser Phase erfassen, wie auch im Bild 4 veranschaulicht. Die Messdauer sollte dabei jeweils lang genug sein, um damit den typischen äquivalenten Dauerschallpegel L_{pAeq} für die entsprechende Tätigkeit zu erfassen (siehe auch Hinweise in Abschnitt 6.4.1).

Nach ISO 9612 sollte die Messzeit für die einzelne Tätigkeit mindestens 5 min betragen. Falls die Tätigkeit jedoch weniger als 5 min dauert, soll sich die Messung über die gesamte Dauer der Tätigkeit erstrecken. Für periodisch schwankende Geräusche (zweite Phase im Bild 4) sind nach ISO 9612 mindestens drei vollständige Schwankungsperioden zu erfassen, wobei außerdem noch die Mindestmessdauer von 5 min zu beachten ist.

Bei zeitlich zufällig schwankenden Geräuschen muss die Messdauer lange genug sein, um ein für die gesamte Tätigkeit repräsentatives Ergebnis zu erhalten. Danach kann es erforderlich sein, die Messung über die gesamte Tätigkeit auszudehnen, wie in Bild 4 für die dritte Phase veranschaulicht. Es ist jedoch zulässig, die Messzeit zu reduzieren, wenn der Geräuschpegel konstant und gut reproduzierbar ist oder die Aufgabe ohnehin nur mit einem geringen Anteil zur Gesamtlärmexposition beiträgt.

Für jede Tätigkeit fordert die ISO 9612 die dreifache Ermittlung des äquivalenten Dauerschallpegels L_{pAeq} . Falls die Ergebnisse für eine Tätigkeit um 3 dB(A) oder mehr differieren, sind zusätzliche Messungen oder neue Messungen mit längeren Messzeiten erforderlich. Die einzelnen Messwerte für eine Tätigkeit sind jeweils nach folgender Gleichung energetisch zu ermitteln:

$$L_{pAeq,T,m} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0,1 \cdot L_{pAeq,T,mi}} \right) \text{ dB} \quad (9.1)$$

mit:

- I Anzahl der Messungen für die Tätigkeit m
- $L_{pAeq,T,mi}$ i-ter Messwert innerhalb der Tätigkeit m

Erfahrungsgemäß dürften sich die einzelnen Messwerte für eine Tätigkeit jedoch nur geringfügig unterscheiden, wenn man die Arbeitsschicht vernünftig in entsprechende Tätigkeiten unterteilt und die Messdauer so wählt, dass das Ergebnis repräsentativ für die Lärmmission der entsprechenden Tätigkeit ist. Bei ausreichender Messerfahrung sollte sich die in ISO 9612 vorgegebene Messdauer von 5 min vielfach reduzieren lassen.

9.3 Berechnung des Lärmexpositionspegels

Tages-Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$:

Aus den mittleren äquivalenten Dauerschallpegeln $L_{pAeq,T,m}$ der einzelnen Tätigkeiten m und den ermittelten Zeitdauern T_m der Tätigkeiten errechnet sich der Tages-Lärmexpositionspegel entsprechend der folgenden Gleichung:

$$L_{EX,8h} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{T_0} \sum_{m=1}^M T_m \cdot 10^{0,1 \cdot L_{pAeq,T,m}} \right) \text{ dB} \quad (9.2)$$

mit:

- $L_{pAeq,T,m}$ – äquivalenter Dauerschallpegel der Tätigkeit m
- T_m – Zeitdauer der Tätigkeit
- T_0 – Bezugszeit, $T_0 = 8 \text{ h}$
- M – Gesamtzahl der Tätigkeiten m

Wochen-Lärmexpositionspegel $L_{EX,40h}$:

Der Wochen-Lärmexpositionspegel $L_{EX,40h}$ lässt sich in ähnlicher Form berechnen, mit dem Unterschied, dass in die obige Gleichung (9.2) die jeweiligen Zeitdauern T_m für die Woche eingesetzt und die gesamte Lärmexposition auf 40 h gezogen wird:

$$L_{EX,40h} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{40h} \sum_{m=1}^M T_m \cdot 10^{0,1 \cdot L_{pAeq,T,m}} \right) \text{ dB} \quad (9.3)$$

mit:

- $L_{pAeq,T,m}$ – äquivalenter Dauerschallpegel der Tätigkeit m
- T_m – Zeitdauer der Tätigkeit m innerhalb einer Arbeitswoche
- M – Gesamtzahl der Tätigkeiten m

Abweichend von dieser relativ einfachen Rechenformel sieht die ISO 9612 zunächst die Berechnung der einzelnen Tages-Lärmexpositionspegel für alle Tage der Woche vor, um daraus die Gesamtexposition zu berechnen und auf fünf Tage zu beziehen. Damit erhält man in mehreren Schritten letztlich dasselbe Ergebnis wie mit der hier genannten Rechenformel (9.3).

Wie die folgenden Beispielrechnungen zeigen, kann der Wochen-Lärmexpositionspegel je nach Arbeitssituation niedriger oder höher als der Tages-Lärmexpositionspegel ausfallen.

Der Unterschied zwischen Wochen-Lärmexpositionspegel und Tages-Lärmexpositionspegel sei hier anhand von zwei Beispielen erläutert:

- Lärmbelastung nur an einem Arbeitstag (8 h) in der Woche mit $L_{EX,8h} = 100 \text{ dB(A)}$, an vier Tagen der Woche lärmfrei.

$$L_{EX,40h} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{40} \cdot 8 \cdot 10^{0,1 \cdot 100} \right] \text{ dB(A)}$$

$$L_{EX,40h} = 93 \text{ dB(A)}$$

Der Wochen-Lärmexpositionspegel kann also höchstens 7 dB(A) niedriger ausfallen als der höchste Tages-Lärmexpositionspegel.

- Lärmbelastung an sieben Tagen in der Woche mit $L_{EX,8h} = 84 \text{ dB}$.

$$L_{EX,40h} = 10 \lg \left[\frac{1}{40} (7 \cdot 8) \cdot 10^{0,1 \cdot 84} \right] \text{ dB(A)}$$

$$L_{EX,40h} = 85,5 \text{ dB(A)}$$

Der Wochen-Lärmexpositionspegel würde bei sieben Arbeitsschichten in der Woche also um 1,5 dB(A) höher ausfallen als der Tages-Lärmexpositionspegel.

9.4 Berechnung der Lärmexposition in Lärmschwerhörigkeitsfällen

Die in den vorherigen Abschnitten beschriebene Berechnung der Lärmexposition aus den für einzelne Tätigkeiten ermittelten Pegeln $L_{pAeq,T,m}$ und den entsprechenden Belastungszeiten T_m lässt sich in gleicher Weise für die Berechnung der Lärmexposition im Rahmen von Lärmschwerhörigkeitsfällen anwenden.

Da die Arbeitsplätze und die entsprechenden Maschinen vielfach nicht mehr existieren, ist man hier gegebenenfalls auf entsprechende Erfahrungswerte, z.B. aus Datenbanken, oder auf Messungen an ähnlichen Arbeitsplätzen angewiesen. Wenn der Betrieb nicht mehr existiert, kann man sich bei der Ermittlung der für die einzelne Tätigkeit anzunehmenden Zeitdauer vielfach nur noch auf die Angaben des Beschäftigten stützen. Aus den äquivalenten Dauerschallpegeln $L_{pAeq,T,m}$ der einzelnen Tätigkeiten und den entsprechenden Zeitanteilen wird schließlich der personenbezogene Lärmexpositionspegel nach der im Abschnitt 9.3 gegebenen Gleichung berechnet.

9.5 Beispiele zur Berechnung des Lärmexpositionspegels

Beispiel 1:

In einem Schwerhörigkeitsfall soll für einen LKW-Fahrer im Fernverkehr der personenbezogene Lärmexpositionspegel ermittelt werden. Der Mann war an jedem Arbeitstag durchschnittlich 10 h auf Autobahnen und Landstraßen unterwegs. Für die entsprechende Lärmbelastung wurde mit einem integrierenden Schallpegelmessgerät ein äquivalenter Dauerschallpegel L_{pAeq} von 79 dB ermittelt (Messdauer ca. 4 h). Damit errechnet sich der Tages-Lärmexpositionspegel nach Gleichung (9.2) zu:

$$L_{EX,8h} = 10 \cdot \lg \left[\frac{T_m}{T_0} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{pAeq}} \right] \text{ dB(A)}$$

$$L_{EX,8h} = 10 \cdot \lg \left[\frac{10}{8} \cdot 10^{7,9} \right] \text{ dB(A)}$$

$$L_{EX,8h} = 80 \text{ dB(A)}$$

Beispiel 2:

Es soll geprüft werden, ob an einem Arbeitsplatz ein Lärmbereich vorliegt.

Während der typischen siebenstündigen Arbeitsschicht treten an dem Arbeitsplatz bedingt durch den Fertigungsablauf vier unterschiedliche Lärmbelastungssituationen auf, so dass sich eine Aufteilung in vier entsprechende Tätigkeiten und die separate Erfassung der äquivalenten Dauerschallpegel für die einzelnen Tätigkeiten anbietet. Die gemessenen äquivalenten Dauerschallpegel $L_{pAeq,T,m}$ und die zugehörigen Zeitdauern der Tätigkeiten sind in Bild 5 grafisch aufgetragen.

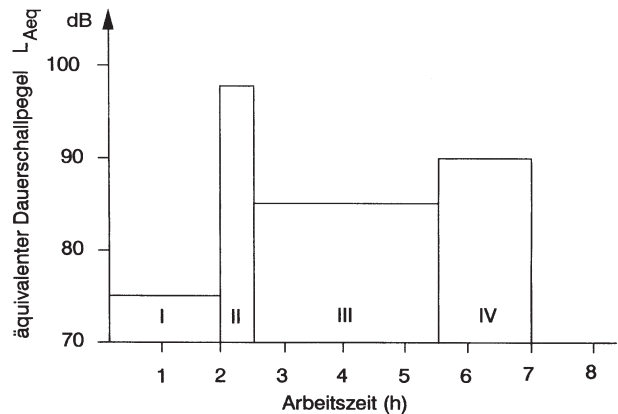


Bild 5: Grafische Darstellung der Schalldruckpegel und der entsprechenden Zeitdauern innerhalb einer typischen Arbeitsschicht.

Die einzelnen Pegelwerte und Zeitdauern sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Tätigkeit-Nr.	$L_m = L_{pAeq,T,m}$ [dB]	Dauer der Tätigkeit T_m [min]	Formelgröße $T_m \cdot 10^{0,1 \cdot L_m}$
I	75	120	$0,4 \cdot 10^{10}$
II	98	30	$18,9 \cdot 10^{10}$
III	85	180	$5,7 \cdot 10^{10}$
IV	90	90	$9 \cdot 10^{10}$
		$\sum_{m=1}^M T_m \cdot 10^{0,1 \cdot L_m}$	$34 \cdot 10^{10}$

$$L_{EX,8h} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T_0} \sum_{m=1}^M T_m \cdot 10^{0,1 \cdot L_m} \right] \text{ dB(A)}$$

$$L_{EX,8h} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{480} \cdot 34 \cdot 10^{10} \right] \text{ dB(A)}$$

$$L_{EX,8h} = 88,5 \text{ dB(A)}$$

Entsprechend Abschnitt 6.1 empfiehlt sich hier die Ermittlung des Lärmbereiches auf der Grundlage des ortsbezogenen Lärmexpositionspegels. Aus den für den repräsentativen Arbeitstag angegebenen äquivalenten Dauerschallpegeln $L_m = L_{pAeq}$ und den entsprechenden Teilzeitdauern T_m errechnen sich mit der in der Tabelle angegebenen Formelgröße zunächst die einzelnen Beiträge zur gesamten Lärmexposition. Entsprechend der Rechenformel (9.2) werden diese aufaddiert und auf die Bezugszeit T_0 von 8 h (480 min) bezogen. Damit ergibt sich der Tages-Lärmexpositionspegel zu:

$$L_{EX,8h} = 88,5 \text{ dB(A)}$$

Da der entsprechende Auslösewert von 85 dB(A) eindeutig überschritten wird, liegt hier ein Lärmbereich vor.

Beispiel 3:

Im Rahmen der Begutachtung eines Lärmschwerhörigkeitsfalles ist die individuelle Gehörbelastung für einen Betriebsschlosser zu ermitteln. Es ist also der personenbezogene Lärmexpositionspegel zu bestimmen.

Der Beschäftigte war zu 40% seiner Arbeitszeit in einer Schlosserei (Tätigkeit 1), zu 60% zu Reparaturarbeiten in einer Großdreherei und Großfräserei (Tätigkeit 2) und 1,5 h je Woche in einem Kompressorraum (Tätigkeit 3) eingesetzt. Die wöchentliche Arbeitszeit betrug 38 h.

Da die Arbeiten in einem relativ lauten Kompressorraum nur an ein oder zwei Tagen in der Woche angefallen sind, ergeben sich von Tag zu Tag deutlich abweichende Lärmbelastungen, so dass sich zur Beschreibung der Belastungssituation die Bestimmung des Wochen-Lärmexpositionspegels empfiehlt (ISO 1999 [14]). In der folgenden Übersicht sind die für die verschiedenen Bereiche ermittelten äquivalenten Dauerschallpegel L_{pAeq} sowie die entsprechenden Zeitdauern der einzelnen Tätigkeiten innerhalb der Arbeitswoche zusammengestellt. Die Tätigkeiten 1 und 2 ergeben sich durch Abzug der Tätigkeit 3 (90 min) von der wöchentlichen Arbeitszeit von 2280 min (38 h) und Aufteilung entsprechend dem Verhältnis 40 zu 60.

Der Wochen-Lärmexpositionspegel lässt sich basierend auf der Rechenformel (9.3) durch Addition der Lärmexpositionen der einzelnen Tätigkeiten in der folgenden Tabelle und Bezug auf die für die Woche festgelegte Bezugsdauer von 40 h (2400 min) mit der folgenden Gleichung berechnen:

Tätigkeit-Nr.	$L_m = L_{pAeq, T_m}$ [dB]	Dauer der Tätigkeit T_m [min]	Formelgröße $T_m \cdot 10^{0,1 \cdot L_m}$
I	88	876	$55,3 \cdot 10^{10}$
II	83	1314	$26,2 \cdot 10^{10}$
III	106	90	$358,3 \cdot 10^{10}$
		$\Sigma =$	$439,8 \cdot 10^{10}$

$$L_{EX,40h} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{40h} \sum_{m=1}^M T_m \cdot 10^{0,1 \cdot L_m} \right] \text{ dB(A)}$$

$$L_{EX,40h} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{2400} \cdot 439,8 \cdot 10^{10} \right] \text{ dB(A)}$$

$$L_{EX,40h} = \underline{92,6 \text{ dB(A)}}$$

Damit ergibt sich für den Betriebsschlosser ein Wochen-Lärmexpositionspegel von

$$L_{EX,40h} = \underline{92,6 \text{ dB(A)}}$$

10 Messunsicherheit

10.1 Allgemeines

Zu einem vollständigen Messbericht bzw. einem Gutachten zur Lärmexposition gehört genau genommen auch eine Angabe der Messunsicherheit. Das ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn der ermittelte Lärmexpositionspegel in der Nähe eines Auslösewertes liegt und entschieden werden muss, ob dieser unter- oder überschritten wird.

Die Unsicherheit der ermittelten Lärmexposition hängt vor allem von den folgenden Einflussfaktoren ab:

- Messgerät und Kalibrierung,
- Mikrofonposition,
- Erfassung der längerfristig typischen Lärmexposition.

Messgerät:

Die Unsicherheit der Schallmessung hängt zunächst einmal von der Qualität bzw. der Genauigkeitsklasse des eingesetzten Schallmessgerätes und des Kalibrators ab. In Abhängigkeit von der Genauigkeitsklasse des Messgerätes sind in den entsprechenden Gerätenormen unterschiedliche zulässige Fehlerabweichungen festgelegt. Für genaue Messungen empfiehlt sich die Verwendung von Messgeräten, die den Anforderungen der Klasse 1 nach DIN EN 61672-1 [21] entsprechen (siehe auch Abschnitt 5). Schallpegelmesser der Genauigkeitsklasse 2 oder Personenschallexposimeter nach DIN EN 61252 [22] lassen

insbesondere bei hochfrequenten Geräuschen größere Abweichungen erwarten.

Mikrofonposition:

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die Lärmexposition durch ortsfeste oder personengebundene Messungen zu erfassen (siehe Abschnitt 6.2). Bei der ortsfesten Messung können sich gegebenenfalls dadurch Unsicherheiten ergeben, dass sich die übliche Position des Kopfes als Mikrofonposition nicht genau ermitteln lässt oder es Probleme gibt, den Bewegungen des Beschäftigten mit dem Mikrofon in Ohrnähe zu folgen. Bei der personengebundenen Messung muss man mit Unsicherheiten durch Schallreflexionen oder Abschattungseffekte durch den Körper des untersuchten Beschäftigten rechnen (siehe Abschnitt 6.2).

Erfassung der längerfristig typischen Lärmexposition:

Um die Unsicherheit bei der Erfassung der längerfristig typischen Lärmexposition zu reduzieren, ist vor allem eine sorgfältige Arbeitsanalyse in Verbindung mit einem ausreichenden Stichprobenumfang erforderlich, so dass alle relevanten Lärmexpositionen mit ihren entsprechenden zeitlichen Anteilen entsprechend der längerfristig typischen Situation in die Berechnung eingehen (repräsentativer Arbeitstag). Je nach gewählter Messstrategie ist gegebenenfalls ein größerer Aufwand für die Arbeitsanalyse oder für die Durchführung der Messungen erforderlich.

Da die Unsicherheitsbetrachtung in den beiden Messnormen DIN 45645-2 und ISO 9612 (Entwurf) unterschiedlich behandelt wird, sollen hier beide Wege nacheinander dargestellt werden.

10.2 Unsicherheit nach DIN 45645-2

Bei der Unsicherheitsbetrachtung nach DIN 45645-2 [16] werden nur zwei Einflussfaktoren berücksichtigt:

- Die Genauigkeitsklasse des Messgerätes,
- die Unsicherheit bei der Erfassung der längerfristig typischen Geräuschbelastung.

Daraus wird die Genauigkeitsklasse des Ergebnisses bestimmt, indem zunächst die einzelnen in der Tabelle 6 eingetragenen Einflussfaktoren für sich betrachtet und der in der Tabelle angegebenen Genauigkeitsklasse zugeordnet werden. Die dabei festgestellte Klasse mit der geringsten Genauigkeit bestimmt schließlich die Genauigkeitsklasse des Beurteilungsergebnisses.

Genauigkeitsklasse	1	2	3
Messgerät (siehe Abschnitt 5)	Klasse 1	Klasse 2 oder besser	Klasse 3 oder besser
geschätzte Unsicherheit bei der Erfassung der längerfristig typischen Geräuschimmission oder Formelgröße $\frac{t}{\sqrt{n}} \cdot s$ beim Stichproben- verfahren	$\leq 1,5 \text{ dB}$	$\leq 3 \text{ dB}$	$\leq 6 \text{ dB}$

Tabelle 6: Bestimmung der Genauigkeitsklasse des Lärmexpositionspegels

Erste Voraussetzung zur Messung nach einer bestimmten Genauigkeitsklasse ist die Verwendung eines Schallmessgerätes der entsprechenden Klasse oder einer höheren Klasse. Das zweite Kriterium ist die Unsicherheit bei der Erfassung der längerfristig typischen (repräsentativen) Geräuschimmission. Diese Unsicherheit kann entweder in den drei Stufen $\leq 1,5$ dB, ≤ 3 dB und ≤ 6 dB abgeschätzt oder nach dem Stichprobenverfahren nach DIN 45645-2, Anhang B unter Anwendung der in Tabelle 6 genannten Formelgröße ermittelt werden.

Bei der Abschätzung der Unsicherheit bei der Erfassung der längerfristig typischen Geräuschsituation ist zu berücksichtigen, dass neben den ermittelten Lärmbelastungswerten gegebenenfalls auch die für die einzelnen Tätigkeiten angenommenen Teilzeiten Einfluss auf das Ergebnis haben. Im Einzelfall kann es zweckmäßig sein, den Lärmexpositionspegel für verschiedene angenommene Tätigkeitsdauern zu berechnen und zu prüfen, in welchem Maße sich das auf das Ergebnis auswirkt.

Die zuverlässige Abschätzung der Unsicherheit erfordert eine große Erfahrung in der akustischen Messtechnik und eine genaue Kenntnis der Arbeitsplatzbedingungen. Bei der Anwendung des Stichprobenverfahrens nach der DIN 45645-2 ergibt sich die Unsicherheit aus der in der Tabelle 6 angegebenen Formelgröße in Abhängigkeit von der Streuung der Stichprobenmesswerte s und dem Stichprobenumfang n . Dabei ist allerdings anzumerken, dass sich die Stichprobenerhebung auf einen ausreichend langen Zeitraum erstrecken muss. So ist z.B. die Stichprobennahme über mehrere Tage erforderlich, wenn sich die Lärmsituation an den einzelnen Tagen unterscheidet.

Nach der Ermittlung der Genauigkeitsklasse des Lärmexpositionspegels entsprechend Tabelle 6 werden den Genauigkeitsklassen 1, 2 und 3 als Konvention die Unsicherheiten von 0 dB, 3 dB und 6 dB zugeordnet. Diese Unsicherheiten sind vor allem für den Vergleich mit Auslösewerten bzw. Aktionswerten von Bedeutung. Die hier für die Genauigkeitsklasse 1 festgelegte Unsicherheit von 0 dB hat den wesentlichen Vorteil, dass sich damit in jedem Fall entscheiden lässt, ob ein bestimmter Lärmpegel unter- oder überschritten wird (siehe Abschnitt 11.1).

10.3 Unsicherheit nach ISO 9612

10.3.1 Einflussfaktoren und Berechnungen

Die ISO 9612 (Entwurf) [15] beschreibt ein Verfahren zur Ermittlung der Unsicherheit entsprechend dem „ISO-Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen“ (GUM) [27]. Da die mit diesem Verfahren verbundenen Berechnungen relativ aufwändig sind, wird auf der Internet-Seite der Internationalen Normungs-Organisation (ISO) ein geeignetes Tabellenkalkulationsprogramm (Excel-Programm) angeboten, das nur die Eintragung der Messwerte, der ermittelten Zeitdauern sowie einzelner Standardunsicherheiten erfordert, um damit unmittelbar die auszuweisende Unsicherheit zu berechnen. Als Grundlage für die erforderliche Eingabe in das Kalkulationsprogramm dienen die folgenden Erläuterungen.

Nach ISO 9612 (Entwurf) sind die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Unsicherheiten zu berücksichtigen.

Unsicherheitsquelle		Standardunsicherheit
Messgerät		u_2
Mikrofonposition		u_3
Tätigkeitsbezogene Messung:	Lärmpegel der einzelnen Tätigkeit	u_{1a}
	Dauer der einzelnen Tätigkeit	u_{1b}
Berufsbildbezogene Messung:	Stichprobennahme	u_1

Tabelle 7: Bei der Unsicherheitsbetrachtung nach ISO 9612 zu berücksichtigende Einflussfaktoren

Aus den Standardunsicherheiten u_i der einzelnen Eingangsgrößen und den zugehörigen Empfindlichkeitskoeffizienten c_i lassen sich die entsprechenden Unsicherheitsbeiträge $c_i \cdot u_i$ berechnen und in Form einer Unsicherheitsbilanz tabellarisch darstellen.

Anmerkung: Der Empfindlichkeitskoeffizient c_i ist ein Maß dafür, wie der Wert des Lärmexpositionspegels durch eine Änderung des Wertes der entsprechenden Eingangsgröße beeinflusst wird. Er berechnet sich durch partielle Ableitung der Funktion zur Bestimmung des Lärmexpositionspegels nach der entsprechenden Eingangsgröße.

Zur Berechnung der kombinierten Standardunsicherheit u des Lärmexpositionspegels sind die ermittelten Unsicherheitsbeiträge $c_i \cdot u_i$ nach der folgenden Gleichung zu addieren:

$$u^2 = \sum_{i=1}^n c_i^2 \cdot u_i^2 \quad (10.1)$$

Aus der kombinierten Standardunsicherheit u errechnet sich die erweiterte Unsicherheit U durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor k :

$$U = k \cdot u \quad (10.2)$$

Die erweiterte Unsicherheit U beschreibt den Vertrauensbereich, in dem der Lärmexpositionspegel mit einer bestimmten Aussagewahrscheinlichkeit zu erwarten ist. Nach ISO 9612 (Entwurf) ist die Ermittlung und Angabe eines einseitigen Vertrauensbereiches mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von 95% – entsprechend dem Erweiterungsfaktor $k = 1,6$ – vorgegeben. Somit ergibt sich die erweiterte Unsicherheit zu:

$$U = 1,6 \cdot u \quad (10.3)$$

Das bedeutet, dass der Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$ mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% unter dem Wert $[L_{EX,8h} + U]$ anzu-nehmen ist.

10.3.2 Unsicherheit der Messgeräte

Nach ISO 9612 (Entwurf) sind für die Messgeräte die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Standardunsicherheiten u_2 anzusetzen. Diese Werte gelten für die Bestimmung des äquivalenten Dauerschallpegels L_{pAeq} . Bei der Bestimmung des Spitzenschalldruckpegels L_{pCpeak} muss man mit größeren Unsicherheiten rechnen.

Typ des Messgerätes	Standardunsicherheit u_2 in dB
Schallpegelmesser nach DIN EN 61672-1 der Klasse 1	0,5
Schallpegelmesser nach DIN EN 61672-1 der Klasse 2	1,0
Personenschallexposimeter nach DIN EN 61252	1,0

Tabelle 8: Standardunsicherheit u_2 auf Grund der Messgeräte

10.3.3 Unsicherheit auf Grund der Mikrofonposition

Wie bereits in Abschnitt 10.1 erläutert ergeben sich sowohl bei der ortsfesten Messung mit dem Handschallpegelmesser als auch bei der personengebundenen Messung mit dem Lärmdosimeter Unsicherheiten auf Grund der nicht idealen Mikrofonposition. Der Einfluss der Mikrofonposition hängt dabei außerdem von der Schallfeldsituation (Freifeld oder Diffusfeld), den Abmessungen oder Anzahl der Lärmquellen sowie dem Ab-

stand zu den Lärmquellen ab. Vereinfachend wird in ISO 9612 (Entwurf) jedoch die Unsicherheit durch die nicht ideale Mikrofonposition jeweils mit einer Standardunsicherheit u_3 von 1,0 dB angenommen.

10.3.4 Berechnung der Unsicherheit bei tätigkeitsbezogenen Messungen

Bei tätigkeitsbezogenen Messungen sind nach ISO 9612 (Entwurf) für jede einzelne Tätigkeit m mindestens drei Messungen erforderlich. Aus der Streuung der Messwerte ergibt sich die zu berücksichtigende Standardunsicherheit $u_{1a,m}$ der entsprechenden Tätigkeit:

$$u_{1a,m} = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[\sum_{i=1}^I (L_{pAeq,T,mi} - \bar{L}_{pAeq,T,m})^2 \right]} \quad (10.4)$$

Die Standardunsicherheit $u_{1b,m}$ für die Ermittlung der Zeitdauer der Tätigkeit m kann abgeschätzt oder aus mehreren Zeitmessungen berechnet werden:

$$u_{1b,m} = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \sum_{i=1}^J (T_{m,i} - \bar{T}_m)^2} \quad (10.5)$$

Unter der Einbeziehung der Standardunsicherheit für die Messgeräte u_2 (siehe Abschnitt 10.3.2) und der Standardunsicherheit auf Grund der Mikrofonposition u_3 (siehe Abschnitt 10.3.3) lässt sich die kombinierte Standardunsicherheit u entsprechend Gleichung (10.1) und schließlich die erweiterte Unsicherheit $U = 1,6 \cdot u$ berechnen.

Da diese Berechnungen für die einzelnen Tätigkeiten, die Berechnung der zugehörigen Empfindlichkeitskoeffizienten und die anschließende Summation mit einem hohen rechnerischen Aufwand verbunden sind, empfiehlt es sich, das bereits unter Abschnitt 10.3.1 angesprochene Tabellen-Kalkulationsprogramm zu nutzen.

10.3.5 Berechnung der Unsicherheit bei berufsbildbezogenen und Ganztags-Messungen

Bei berufsbildbezogenen Messungen und bei Ganztags-Messungen ist die Unsicherheit jeweils nach demselben Verfahren zu berechnen. Genau genommen sind die bei Ganztags-Messungen für einzelne Tage erfassten Mittelungspegel L_{pAeq} nichts anderes als die Stichprobenmesswerte $L_{pAeq,T,n}$ bei berufsbildbezogenen Messungen.

Der Unsicherheitsbeitrag $c_1 \cdot u_1$ durch die Stichprobennahme lässt sich in Abhängigkeit von der Standardunsicherheit u_1 der einzelnen Stichprobenmesswerte $L_{pAeq,T,n}$ und der Anzahl der Messwerte N aus der in ISO 9612 gegebenen Wertetabelle D.4 entnehmen. Dann kann man die kombinierte Standardunsicherheit u unter Einbeziehung der Unsicherheitsbeiträge durch die Messgeräte u_2 (siehe Abschnitt 10.3.2) und der Mikrofonposition u_3 (siehe Abschnitt 10.3.3) mit der folgenden Gleichung berechnen:

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2) \quad (10.6)$$

$$(c_2 = c_3 = 1)$$

Die erweiterte Unsicherheit U ergibt sich entsprechend Abschnitt 10.3.1 zu:

$$U = 1,6 \cdot u$$

Um sich diese Berechnungen zu erleichtern, empfiehlt sich auch hier die Anwendung des bereits angesprochenen Tabellen-Kalkulationsprogrammes (siehe Abschnitt 10.3.1).

11 Vergleich mit Grenzwerten

In vielen Anwendungsfällen mag es ausreichen, als Ergebnis nur den Lärmexpositionspegel zusammen mit der Unsicherheit bzw. der Genauigkeitsklasse anzugeben. Bei verschiedenen

Aufgaben kann jedoch die Entscheidung gefordert sein, ob ein bestimmter Pegel unter- oder überschritten wird. Nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung müssen die Messverfahren und -geräte geeignet sein, die jeweiligen Messgrößen zu bestimmen und zu entscheiden, ob die festgesetzten Auslöswerte eingehalten werden.

11.1 Grenzwertvergleich nach DIN 45645-2

Nach DIN 45645-2 ist das Ergebnis der Beurteilung zunächst der Genauigkeitsklasse 1, 2 oder 3 zuzuordnen. Für den Grenzwertvergleich entsprechen diesen Genauigkeitsklassen als Konvention die Unsicherheiten ΔL von 0 dB, 3 dB und 6 dB. So lässt sich bei Ergebnissen der Genauigkeitsklassen 2 und 3 jeweils ein Pegelbereich angeben, in dem der Lärmexpositionspegel anzunehmen ist:

$$(L_{EX,8h} - \Delta L) \text{ bis } (L_{EX,8h} + \Delta L)$$

Falls der Grenzwert L_g unterhalb oder oberhalb dieses Pegelbereiches liegt, kann man feststellen, dass der Grenzwert eindeutig über- oder unterschritten ist. Fällt der Grenzwert L_g in diesen Pegelbereich

$(L_{EX,8h} - \Delta L < L_g < L_{EX,8h} + \Delta L)$, so ist keine eindeutige Entscheidung möglich. Falls in diesem Fall eine Entscheidung gefordert ist, muss die Ermittlung des Lärmexpositionspegels mit einem genaueren Verfahren wiederholt werden. Bei Messungen nach der Genauigkeitsklasse 1 kann man dann in jedem Fall eindeutig entscheiden, da hierfür per Konvention die Unsicherheit ΔL mit 0 dB anzunehmen ist.

Beispiel:

Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h} = 84$ dB(A),

Genauigkeitsklasse 2,

Grenzwert $L_g = 85$ dB(A)

Lösung:

Für Genauigkeitsklasse 2 ist eine Unsicherheit $\Delta L = 3$ dB(A) festgelegt (Konvention).

Damit gilt: $L_{EX,8h} = (84 \pm 3)$ dB(A)

entsprechend einem Pegelbereich von:

$$81 \text{ dB(A)} \leq L_{EX,8h} \leq 87 \text{ dB(A)}$$

Da der Grenzwert $L_g = 85$ dB(A) innerhalb dieses Pegelbereiches liegt, ist keine eindeutige Entscheidung hinsichtlich Einhaltung dieses Grenzwertes möglich.

Lässt sich der ermittelte Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$ von 84 dB(A) durch zusätzliche Messungen besser absichern und der Genauigkeitsklasse 1 zuordnen (siehe Tabelle 6), gilt als Unsicherheit für den Grenzwertvergleich $\Delta L = 0$ dB(A):

$$L_{EX,8h} = (84 \pm 0) \text{ dB(A)}$$

$$84 \text{ dB(A)} < L_g$$

Damit ist der Grenzwert L_g von 85 dB(A) eingehalten.

11.2 Vorschlag für Grenzwertvergleich bei Messungen nach ISO 9612

Das in ISO 9612 (Entwurf) beschriebene Verfahren zur Bestimmung der Lärmexposition wird der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren) zugeordnet. Hinsichtlich Grenzwertvergleichs gibt es in der ISO keine Aussagen.

Mit dem relativ aufwändigen Messverfahren nach ISO 9612 (Entwurf) können sich jedoch in Abhängigkeit von der gegebenen Geräuschsituation bzw. den gewonnenen Stichprobenmesswerten, dem Stichprobenumfang und dem eingesetzten Schallmessgerät (Klasse 1 oder 2) deutlich abweichende Unsicherheiten ergeben. So lassen sich z.B. kombinierte Standardunsicherheiten u von ca. 1,5 bis 6 dB errechnen, was nach DIN 45645-2 Ergebnissen der Genauigkeitsklasse 1 bis 3 entspräche.

Überschlägige Rechnungen zeigen, dass z.B. eine berufsbildbezogene Stichprobenmessung nach ISO 9612 (Entwurf) mit einem Schallpegelmessgerät der Klasse 1 nach DIN 45645-2 der Genauigkeitsklasse 1 entspräche, falls die kombinierte Standardunsicherheit u nicht mehr als 1,7 dB beträgt. Bis zu einer kombinierten Standardunsicherheit u von 3,8 dB ließe sich das Ergebnis der Genauigkeitsklasse 2 nach DIN 45645-2 zuordnen.

Im Vergleich zu der nach DIN 45645-2 in den drei Stufen $\leq 1,5$ dB, ≤ 3 dB und ≤ 6 dB abzuschätzenden Unsicherheit bei der Erfassung der längerfristig typischen Geräuschimmission (siehe Tabelle 6) fallen die hier genannten kombinierten Standardunsicherheiten u jeweils etwas höher aus, da sie auch die für das Messgerät und die Mikrofonposition angenommenen Unsicherheiten beinhalten.

Da sich die bisherige Praxis des Grenzwertvergleiches nach DIN 45645-2 durchaus bewährt hat und mit entsprechendem Messaufwand in der Regel eindeutige Entscheidungen ermöglicht (siehe Abschnitt 11.1), soll hier ein Verfahren beschrieben werden, das den Grenzwertvergleich nach DIN 45645-2 mit der Unsicherheitsbetrachtung nach ISO 9612 (Entwurf) verbindet. Es wird das Prinzip der DIN 45645-2 beibehalten, dass man drei Genauigkeitsklassen unterscheidet und diesen feste Unsicherheiten ΔL von 0 dB, 3 dB und 6 dB für den Grenzwertvergleich zuordnet (Konvention).

Die Genauigkeitsklassen ergeben sich entsprechend der folgenden Tabelle 9 unmittelbar aus den nach ISO 9612 (Entwurf) berechneten kombinierten Standardunsicherheiten u .

Die hier gewählte Stufung der kombinierten Standardunsicherheit 2 dB, 4 dB und 7 dB basiert auf den oben durch Vergleich mit DIN 45645-2 für die Genauigkeitsklassen berechneten Werten, wobei die Werte aus Gründen der Vereinfachung auf volle dB gerundet sind.

Genauigkeitsklasse	1	2	3
Kombinierte Standardunsicherheit u	≤ 2 dB	≤ 4 dB	≤ 7 dB
Unsicherheit ΔL für Grenzwertvergleich (Konvention nach DIN 45645-2)	0 dB	3 dB	6 dB

Tabelle 9: Vorschlag zur Unterscheidung von Genauigkeitsklassen in Abhängigkeit von der nach ISO 9612 (Entwurf) ermittelten kombinierten Standardunsicherheit u (in Anlehnung an DIN 45645-2)

Beim Grenzwertvergleich ist jeweils zu prüfen, ob der Grenzwert L_g unterhalb, innerhalb oder oberhalb des Pegelbereiches ($L_{EX,8h} - \Delta L$) bis ($L_{EX,8h} + \Delta L$)

liegt (siehe auch Beispiel in Abschnitt 11.1). Liegt der Grenzwert innerhalb dieses Pegelbereiches, ist keine eindeutige Entscheidung möglich. Dann sind gegebenenfalls zusätzliche Erhebungen erforderlich, um Ergebnisse entsprechend einer höheren Genauigkeitsklasse zu erzielen. Lässt sich damit eine kombinierte Standardunsicherheit u von bis zu 2 dB erreichen, wird beim Grenzwertvergleich eine Unsicherheit ΔL von 0 dB angenommen, so dass in jedem Fall eine eindeutige Entscheidung möglich ist.

12 Messbericht

Die durchgeführte Geräuschimmissionsmessung sollte ausführlich dokumentiert werden, so dass bei eventuellen späteren

Rückfragen oder in Streitfällen die erforderlichen Daten vorliegen. Nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung besteht für den Unternehmer die Pflicht, die gewonnenen Ergebnisse in geeigneter Form zu dokumentieren und mindestens 30 Jahre aufzubewahren.

Falls Geräuschimmissionsmessungen mehrfach mit gleicher Aufgabenstellung und Messausrüstung durchgeführt werden, kann es zweckmäßig sein, für den Messbericht spezielle Formulare vorzubereiten, die die Erfassung und Auswertung der Messergebnisse erleichtern und außerdem sicherstellen, dass keine wichtigen Angaben vergessen werden (Checkliste).

Der berechnete Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$ und der Spitzenschalldruckpegel L_{pCpeak} sind nach DIN 45645-2 im Messbericht bei Messungen nach Genauigkeitsklasse 1 jeweils mit einer Stelle nach dem Komma anzugeben. Bei Messungen nach Genauigkeitsklasse 2 und 3 ist das Ergebnis auf volle dB zu runden.

Nach ISO 9612 (Entwurf) ist in der derzeitigen Fassung in jedem Fall eine Rundung des Ergebnisses auf die nächste ganze Zahl vorgegeben, während die Unsicherheit mit einer Stelle nach dem Komma angegeben wird. Es wird aber noch diskutiert, ob nicht jeweils das Ergebnis und die Unsicherheit mit einer Stelle nach dem Komma anzugeben sind. Das wäre bei diesen relativ aufwändigen und genauen Messungen durchaus zu empfehlen.

Der Messbericht sollte z.B. die folgenden Angaben enthalten:

- (1) Allgemeine Angaben
 - Betrieb
 - Datum der Messung
 - Beteiligte Personen
- (2) Zweck der Messung
 - z.B. Ermittlung von Lärmbereichen
 - z.B. gutachterliche Stellungnahme in Lärmschwerhörigkeitsfall
- (3) Verwendete Messgeräte
 - Art des Schallmessgerätes
 - Datum der letzten Prüfung
- (4) Arbeitsanalyse/Beschreibung des Arbeitsplatzes
 - Abteilung, Halle bzw. Raum, Art der Tätigkeit, Berufsbezeichnung
 - Längerfristig typische/repräsentative Geräuschbelastung (Geräuschquellen, Betriebszustände, Arbeitsabläufe)
 - Beschreibung der Geräuschimmission (Geräuschcharakter, Pegelschwankung, Fremdgeräusch)
 - Beschreibung der räumlichen/raumakustischen Verhältnisse (Raumabmessungen, Reflexionsflächen, Skizze des Arbeitsplatzes im Grundriss)
 - Dauer der Arbeitsschicht, offizieller Arbeitspausen und gegebenenfalls einzelner Tätigkeiten
- (5) Durchgeführte Messungen und Messergebnisse
 - Gewählte Messstrategie
 - Ortsfeste oder personengebundene Messung
 - Genaue Position des Mikrofons
 - Gegebenenfalls festzustellende Abweichungen von der üblichen Arbeitssituation
 - Messwerte $L_{pAeq,T}$ und L_{pCpeak} für einzelne Tätigkeiten oder Stichprobenmesswerte
 - Zeitpunkt und Dauer der Messung
- (6) Endergebnisse
 - Lärmexpositionspegel für den repräsentativen Arbeitstag ($L_{EX,8h}$) bzw. für die Arbeitswoche ($L_{EX,40h}$)
 - Gegebenenfalls höchster Spitzenschalldruckpegel L_{pCpeak}

- Unsicherheit bzw. Genauigkeitsklasse der Ergebnisse

(7) Beurteilung, gegebenenfalls Grenzwertvergleich, Schlussfolgerungen

Literatur

- [1] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007, BGBl. I, S. 261,
- [2] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG) vom 7. August 1996, BGBl. I, S. 1246,
- [3] Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ (BGV B3) vom 1. Januar 1990. Erste Fassung vom Dez. 1974, Neufassung vom Januar 1990,
- [4] Richtlinie 86/188/EWG des Rates vom 12. Mai 1986 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdungen durch Lärm am Arbeitsplatz. Amtsblatt der EG Nr. L 137 vom 24.05.1986, S. 28,
- [5] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I, S. 2179,
- [6] VDI 2058 Blatt 3: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten. Februar 1999,
- [7] DIN EN ISO 11 690-1: Akustik; Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten; Teil 1: Allgemeine Grundlagen. (Februar 1997),
- [8] Richtlinie 2003/10/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Februar 2003 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm). Amtsblatt d. EU L 42 vom 15. Februar 2003, S. 38,
- [9] Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen, Grundsatz G 20 „Lärm“. Gentner Verlag, Stuttgart 1989,
- [10] LSA 01-305: Lärmschutz-Arbeitsblatt „Geräuschminderung im Betrieb – Lärmreduzierungsprogramm nach § 6 Unfallverhütungsvorschrift Lärm“. (BGI 675), Carl Heymanns Verlag Köln, Ausgabe Juni 1995,
- [11] BG-Regel „Einsatz von Gehörschützern“ (BGR 194) – Ausgabe April 1998 mit aktualisierter Positivliste Oktober 2003, Neufassung in Vorbereitung, Carl Heymann Verlag Köln,
- [12] Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte (Geräte- und Produktsicherheitsgesetz – GPSG) vom 6. Januar 2004. BGBl. I, S. 2,
- [13] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG Amtsblatt d. Europäischen Gemeinschaften Nr. L 399 vom 30. Dezember 1989, S. 18,
- [14] ISO 1999: Akustik; Bestimmung der berufsbedingten Lärmexposition und Einschätzung der lärmbedingten Hörschädigung. (Januar 1990),
- [15] DIN EN ISO 9612: Akustik; Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz; Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren). Entwurf Juni 2007,
- [16] DIN 45645-2: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen; Teil 2: Geräuschmissionen am Arbeitsplatz. Juli 1997,
- [17] Maue, J. H.: Bestimmen der Lärmexposition an Arbeitsplätzen – Messstrategien und Messunsicherheit. Sicherheitsingenieur 5/2006, S. 12 bis 17,
- [18] DIN 46641: Mittelung von Schallpegeln. Juni 1990,
- [19] VDI 2058 Blatt 2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung. Juni 1988,
- [20] Maue, J. H.: 0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel: Einführung in die Grundbegriffe und die quantitative Erfassung des Lärms. Begr. von H. Hoffmann und A.v. Lüpke. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin, 8. aktualisierte und erw. Auflage. Erich Schmidt Verlag, Berlin 2003,
- [21] DIN EN 61 672-1: Elektroakustik; Schallpegelmesser; Teil 1: Anforderungen. Oktober 2003,
- [22] DIN EN 61 252: Elektroakustik; Spezifikationen für Personenschallexposimeter. Mai 2003,
- [23] DIN EN 60 942: Elektroakustik; Schallkalibratoren. August 1998,
- [24] Maue, J.H.: Ermittlung der Lärmexposition mit Hilfe von Schalldosimetern. Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt 210215. In: BIA-Handbuch. 48. Lfg. 2006, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld,
- [25] Königsteiner Merkblatt – Empfehlungen des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften für die Begutachtung der beruflichen Lärmschwerhörigkeit. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1996,
- [26] Maue, J.H.: Impulslärm an Arbeitsplätzen – der energieäquivalente Dauerschallpegel als Beurteilungskriterium für das Hörschadensrisiko. BIA-Report Nr.3/88, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, Sankt Augustin 1988,
- [27] Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen. Deutsche Übersetzung des GUM. 1. Auflage 1995. DIN, Berlin,
- [28] Maue, J.H.: Besondere Gehörgefährdung durch Impulslärm? In: Neufassung der Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ – Einheitliche Umsetzung in der Praxis. BIA-Report 1/92, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, Sankt Augustin 1992, S. 43 bis 59.

Bearbeiter: Dr.-Ing. Jürgen H. Maue
 Berufsgenossenschaftliches Institut
 für Arbeitsschutz (BGI),
 Fachbereich 4: Arbeitsgestaltung
 – Physikalische Einwirkungen