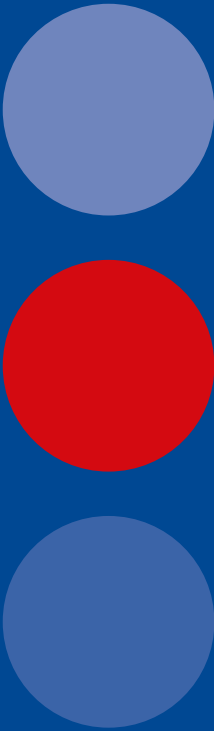


212-003

DGUV Information 212-003



**Messsysteme zur
Bestimmung der
individuellen
Schutzwirkung von
Gehörschutz**

Impressum

Herausgegeben von:

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-9876
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet Gehörschutz des
Fachbereichs Persönliche Schutz-
ausrüstungen der DGUV

Ausgabe: Juli 2019

DGUV Information 212-003
zu beziehen bei Ihrem zuständigen
Unfallversicherungsträger oder unter
www.dguv.de/publikationen

Messsysteme zur Bestimmung der individuellen Schutzwirkung von Gehörschutz

Hinweis:

Der DGUV Grundsatz für arbeitsmedizinische Untersuchungen G 20 „Lärm“ wurde im Jahr 2022 durch die DGUV Empfehlung „Lärm“ abgelöst. Die daraus resultierenden Änderungen wurden noch nicht in die DGUV Information 212-003 eingearbeitet und sind daher direkt der DGUV Empfehlung „Lärm“ zu entnehmen.

Inhaltsverzeichnis

	Seite		Seite
Vorbemerkung	6	5.6 Funktionskontrolle von Gehörschutz-Otoplastiken [5]	15
1 Baumusterprüfung und Praxisschalldämmung	7	5.7 Sensibilisierung für die Themen Lärm und Gehörschutz.....	15
2 Kenngrößen der individuellen Schutzwirkung von Gehörschutz	8	6 Funktionsweise der Messsysteme zur Bestimmung der individuellen Schutzwirkung	16
3 Pegelbereiche am Arbeitsplatz	9	6.1 Allgemeines	16
4 Möglichkeiten der Berücksichtigung der individuellen Schutzwirkung [3]	11	6.2 f-MIRE-Verfahren.....	16
5 Mögliche Einsatzfelder der Messsysteme	13	6.3 Audiometrische Verfahren	17
5.1 Auswahl eines geeigneten Gehörschützers.....	13	6.4 Audiometrie-ähnliche Verfahren	18
5.2 Beurteilung der Eignung eines Gehörschützers in Bezug auf den Expositionsspiegel am Arbeitsplatz	13	6.5 Lautstärkevergleich	18
5.3 Training für Gehörschutzbenutzer/Gehörschutzbenutzerinnen	14	6.6 Akustischer Leckagetest [6] .	18
5.4 Training für Ausbilder/Ausbilderinnen und Vorgesetzte.....	14	6.7 Druckprüfung.....	19
5.5 Beratung im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge [4]	14	6.8 Zusammenfassung.....	19
		7 Informationen zur Durchführung der einzelnen Verfahren	21
		7.1 f-MIRE – Technik	21
		7.2 Audiometrische Verfahren	21
		7.3 Audiometrie-ähnliche Verfahren	25
		7.4 Lautstärkevergleich	26
		7.5 Akustischer Leckagetest	27
		7.6 Druckprüfung [8]	27

	Seite
8	Bewertungskriterien für die Ergebnisse (Beurteilung) 30
8.1.	Allgemein 30
8.2	Beurteilung auf Basis der Schalldämmwerte aus der Baumusterprüfung 30
8.2.1	Allgemein 30
8.2.2	Oktavbandwerte 31
8.2.3	HML- und SNR-Werte 32
8.2.4	Beispiel für die Beurteilung einer audiometrischen Messung 33
8.2.5	Beispiel für die Beurteilung einer Messung mit der f-MIRE-Technik 38
8.3	Beurteilung auf Basis des Restschallpegels am Ohr 38
8.4	Beurteilung auf Basis von Druckgrößen (Druckprüfung) 40
8.4.1	Druckanstiegsmethode – Betrachtung des maximal erreichbaren Drucks [13] 40
8.4.2	Druckabfallmethode – Betrachtung des Restdrucks oder der Leckrate [14] 41

	Seite
9	Messunsicherheit der individuellen Messung 42
9.1	Allgemein 42
9.2	Messunsicherheit der einzelnen Methoden 43
9.3	Vergleichbarkeit von wiederholten Messungen 44
10	Vorteile und kritische Punkte der einzelnen Verfahren 45
10.1	f-MIRE-Technik 45
10.2	Audiometrie 45
10.3	Audiometrie-ähnliche Verfahren 47
10.4	Lautstärkevergleich 47
10.5	Akustischer Leckagetest 48
10.6	Druckprüfung insbesondere als Herstellerverfahren 48
11	Einsatzempfehlungen 50
12	Berücksichtigung des Datenschutzes 52
Anhang 53

Vorbemerkung

Hinweis:

*Zahlen in eckigen Klammern ([1] etc.)
verweisen auf Erläuterungen („Erwägungsgründe“) im Anhang.*

Diese DGUV Information erläutert die Möglichkeiten der Bestimmung der individuellen Schutzwirkung bei der Benutzung von Gehörschutz.

Die Schrift richtet sich hauptsächlich an die Verantwortlichen für die Gehörschutzauswahl und Überwachung in den Unternehmen. Hersteller von Messsystemen zur Bestimmung der individuellen Schutzwirkung können aber auch Hinweise zum Einsatz etc. aus der Schrift entnehmen.

1 Baumusterprüfung und Praxisschalldämmung

Die Schalldämmung von Gehörschützern wird bei der Baumusterprüfung mit erfahrenen Versuchspersonen ermittelt, die den Gehörschutz unter Aufsicht des Versuchsleiters bzw. der Versuchsleiterin einsetzen (Verfahren nach DIN EN ISO 4869-1:2019). Dadurch erhält man Schalldämmwerte, die unter optimalen Bedingungen erreicht werden. Diese Werte sind nach DIN EN 352 in der Benutzerinformation anzugeben und werden für die Auswahl eines geeigneten Gehörschützers verwendet.

Gemessen werden Oktavbandwerte. Aus diesen errechnet man die H, M und L-Werte und den SNR-Wert als Einzalkennwert.

Andererseits ist aus verschiedenen internationalen Studien bekannt, dass die im Praxiseinsatz erreichte Schalldämmung typischerweise deutlich von den Werten der Baumusterprüfung abweicht. Speziell für hochschalldämmende Schaumstoffstöpsel oder Gehörschutz-Otoplastiken mit einer Leckage können die Effekte signifikant sein. [1]

2 Kenngrößen der individuellen Schutzwirkung von Gehörschutz

Messsysteme, die Schalldämmwerte ermitteln, geben häufig einen Einzahlkennwert aus. Je nach Hersteller und System tragen diese Größen unterschiedliche Bezeichnungen (z. B. PAR, pSNR, PSNA). Die Berechnung dieser Größen basiert meist auf dem SNR-Wert, d.h. der individuelle Wert muss vom C-bewerteten Schalldruckpegel am Arbeitsplatz subtrahiert werden, um den A-bewerteten Restpegel zu erhalten.

Es gibt aber auch Systeme, deren Einzahlkennwerte direkt vom A-bewerteten Schalldruckpegel am Arbeitsplatz abgezogen werden können. Dies ist bei der Anwendung der individuellen Ergebnisse zu beachten und ggf. beim Hersteller zu erfragen.

3 Pegelbereiche am Arbeitsplatz

Folgende Fallunterscheidung ist sinnvoll, siehe auch Tabelle 1:

- **Niedrige Pegel ($L_{EX,8h} < 85 \text{ dB(A)}$):**
Hier ist niedrig schalldämmender Gehörschutz besonders sorgfältig auszuwählen, um Überprotektion zu vermeiden und den notwendigen Schutz zu gewährleisten.
- **Mittlere Pegel ($85 \text{ dB(A)} \leq L_{EX,8h} < 95 \text{ dB(A)}$):** Firmen wählen Gehörschutz häufig nicht pegelspezifisch aus, weil das Hörschadensrisiko nicht erkannt wird. Leckagen können dazu führen, dass der maximal zulässige Expositionswert von $L'_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)}$ am Ohr des Gehörschutzträgers nicht eingehalten wird. Leckagen verringern insbesondere die Dämmung bei tiefen Frequenzen und damit die Signalhörbarkeit. Die Zusatzkennzeichnungen aus der IFA-Positivliste (W, X, S, V und $E_{1/2/3}$) gehen verloren.

Achtung: Auch an Arbeitsplätzen mit Schallpegeln nur geringfügig über $L_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)}$ werden häufig Schwerhörigkeiten festgestellt. [2]

- **Hohe Pegel ($L_{EX,8h} \geq 95 \text{ dB(A)}$):**
Es werden hochschalldämmende Gehörschützer ausgewählt und benötigt. Leckagen haben eine starke Verringerung der Schutzwirkung zur Folge.
- **Extrem hohe Pegel ($L_{EX,8h} \geq 110 \text{ dB(A)}$):**
Die Gehörschutzauswahl ist ähnlich wie bei hohen Pegeln. Zusätzlich sind spezielle Schutzmaßnahmen wie dokumentierte Unterweisungen mit Übungen mehrmals im Jahr zwingend vorgeschrieben (TRLV Lärm, Teil 3, Abschnitt 6.3.3). Für diesen Pegelbereich ist die Bestimmung der individuellen Schutzwirkung dringend zu empfehlen (TRLV Lärm, Teil 3, Abschnitt 6.5).

Tabelle 1: Notwendigkeit der Bestimmung der individuellen Schutzwirkung für einzelne Pegelbereiche

Pegelbereich	Risiko der Lärmschwerhörigkeit	Akzeptanz der Gehörschutz-Benutzung	Bestimmung der individuellen Schutzwirkung
< 85 dB(A)	gering	niedrig	zu empfehlen
85 – 94 dB(A)	mittel	mäßig	wichtig
95 – 109 dB(A)	erhöht	meist gut	sehr wichtig
≥ 110	hoch	gut	besonders wichtig, verkürzte Zeitabstände

Die Funktionskontrolle für Gehörschutz-Otoplastiken ist unabhängig vom Tages-Lärmexpositionspegel (Pegelbereich) verpflichtend vorgeschrieben.

4 Möglichkeiten der Berücksichtigung der individuellen Schutzwirkung [3]

Mit der Lärm- und Vibrations-Arbeitschutzverordnung, LärmVibrations-ArbSchV (2007), wurde eine neue Größe eingeführt: der maximal zulässige Expositionswert (MZE), der auch die dämmende Wirkung des Gehörschutzes mitberücksichtigt. Die Werte sind zahlenmäßig identisch mit den oberen Auslösewerten: 85 dB(A) für den Tages-Lärmexpositionspegel und 137 dB(C) für den Spitzenschalldruckpegel (§8 (2)). Die Einhaltung des MZE ist für alle Beschäftigten sicherzustellen.

Um dies zu ermöglichen, werden bisher bei der rechnerischen Auswahl von Gehörschutz sog. Praxisabschläge verwendet, die die Reduktion der Schutzwirkung zwischen Baumusterprüfung und Einsatz im Betrieb nachbilden. Die Werte basieren auf Studien des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) und wurden vom Sachgebiet Gehörschutz im Fachbereich Persönliche Schutzausrüstungen der DGUV festgelegt. Sie sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Praxisabschläge der Schalldämmung für verschiedene Gehörschutztypen

Gehörschutztyp	Praxisabschlag K_S
Kapselgehörschützer	5 dB
Vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel	9 dB
Fertig geformte Gehörschutzstöpsel	5 dB
Bügelstöpsel	5 dB
Gehörschutz-Otoplastiken (mit Funktionskontrolle)	3 dB

Bei Gehörschutz-Otoplastiken ist zu beachten, dass diese Produkte der Pflicht einer regelmäßigen Funktionskontrolle entsprechend TRLV Lärm (2017) unterliegen.

Aus den Studien zur Praxisschalldämmung ist auch bekannt, dass die Streuweite an individuell erreichten Schalldämmwerten deutlich größer ist als bei der Baumusterprüfung. Es gibt allerdings auch Personen, die den Gehörschützer nahezu wie in der

Baumusterprüfung einsetzen. Diese Gruppe hat bei der Auswahl mit Praxisabschlägen dann effektiv zu hohe Dämmwerte. Prinzipiell kann das Verfahren mit Abschlägen, das nur auf statistischen Aussagen beruht, nicht jedem Einzelnen gerecht werden.

Als Alternative kommt eine Bestimmung der individuellen Schutzwirkung in Betracht. Damit ließe sich die pauschale Abwertung durch Praxisabschläge vermeiden.

5 Mögliche Einsatzfelder der Messsysteme

Je nach Einsatzfall und Zielsetzung können mit den Messsystemen zur Bestimmung der individuellen Schutzwirkung unterschiedliche Ziele verfolgt werden.

5.1 Auswahl eines geeigneten Gehörschützers

Auch bei anderen Arten von Gehörschutzstöpseln (nicht nur bei Gehörschutz-Otoplastiken) ist eine Kontrolle der individuell erreichten Schutzwirkung sinnvoll. Sowohl bei Schaumstoff- als auch Lamellenstöpseln kann es durch falsches Einsetzen oder eine ungeeignete Größe und Form zu signifikanten Leckagen kommen. Im Idealfall sollten Dämmwerte erreicht werden, die mit den Ergebnissen der Baumusterprüfung in Einklang stehen. Dazu sind aber Messsysteme nötig, die diese Aussagegenauigkeit haben oder zumindest erlauben, Leckagen im tieffrequenten Bereich eindeutig zu identifizieren.

5.2 Beurteilung der Eignung eines Gehörschützers in Bezug auf den Expositionspegel am Arbeitsplatz

Ein alternativer Ansatzpunkt ist die Überprüfung der Einhaltung des maximal zulässigen Expositionswertes. Dabei darf der Restpegel unter dem Gehörschutz 85 dB(A) nicht überschreiten. Der Restpegel errechnet sich aus dem Tages-Lärmexpositionspegel abzüglich des individuellen Dämmwerts. Bei diesem Verfahren wird vorausgesetzt, dass die Messsysteme Werte liefern, die mit denen der Baumusterprüfung übereinstimmen, andernfalls ist die Berechnung des Restpegels nicht korrekt. Außerdem könnten bei moderaten Pegeln am Arbeitsplatz auch falsch eingesetzte, hochschalldämmende Gehörschützer das Kriterium erfüllen, was aber vermieden werden sollte. In so einer Situation kann insbesondere die Signalhörbarkeit eingeschränkt sein, da sich die Frequenzcharakteristik des Gehörschützers deutlich geändert hat.

5.3 Training für Gehörschutzbenutzer/Gehörschutzbenutzerinnen

Wenn am Arbeitsplatz Gehörschutz zur Verfügung gestellt oder getragen werden muss, müssen die Beschäftigten entsprechend unterwiesen werden. Alle Produkte müssen mit Benutzerinformationen einschließlich Erläuterungen zum richtigen Gebrauch geliefert werden. Da Gehörschutz nach PSA-Verordnung (EU) 2016/425 in Kategorie III eingestuft wird, sind jetzt praktische Übungen bei den jährlichen Unterweisungen entsprechend § 31 DGUV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“ erforderlich. Beschäftigte erhalten dadurch eine Rückkopplung, ob der Gehörschutz von ihnen richtig eingesetzt und getragen wird. Wenn sich bei sorgfältigem Einsetzen eine Verbesserung der Schutzwirkung nachweisen lässt, erhöht das die Motivation, den Gehörschutz generell so zu benutzen. Im Gegensatz dazu muss die Unterweisung zur „qualifizierten Benutzung“ mit Wegfall der Praxisabschlüsse der Schalldämmung entsprechend Abschnitt 6.6.3 der TRLV Lärm, Teil 3 „Lärminderungsmaßnahmen“, und Abschnitt 3.3.3 und Anhang 6 der DGUV Regel 112-194 „Benutzung von Gehörschutz“, die bei extrem hohen Schallpegeln ab $L_{EX,8h} = 110 \text{ dB(A)}$

vorgeschrieben ist, viermal jährlich mit dokumentierten Übungen erfolgen.

5.4 Training für Ausbilder/Ausbilderinnen und Vorgesetzte

Die Personen, die die vorgeschriebenen Unterweisungen durchführen oder Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen anleiten, sollten nicht nur den Gehörschutz selbst korrekt verwenden können, sondern sie sollten auch in der Lage sein, gravierende Fehler bei anderen zu erkennen und die Auswirkung von falschem Benutzen einzuschätzen. Die Verwendung der Messsysteme zur Bestimmung der individuellen Schutzwirkung erlaubt es, diese Erfahrungen zu sammeln.

5.5 Beratung im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge [4]

Der Betriebsarzt oder die Betriebsärztin hat beim persönlichen Kontakt mit den Beschäftigten in besonderem Maße die Möglichkeit, individuell auf den Gehörschutz, die Trageweise und eventuelle Probleme einzugehen. Wenn ein audiometrisches Verfahren für die Ermittlung

der individuellen Dämmwerte verwendet wird, ergibt sich ein Synergieeffekt, da die offene Hörschwelle (zumindest ab 1000 Hz) bereits vorliegt. Es können aber auch andere Systeme zum Einsatz kommen, die dem Arzt bzw. der Ärztin und den Beschäftigten eine Einschätzung über die tatsächliche Schutzwirkung erlauben.

5.6 Funktionskontrolle von Gehörschutz-Otoplastiken [5]

Nach den Technischen Regeln zur LärmVibrationsArbSchV ist die Funktion einer Gehörschutz-Otoplastik nur bei fachgerechter Herstellung und Funktionskontrolle bei Auslieferung gegeben. Entsprechend der PSA-Verordnung (EU) 2016/425 muss der Hersteller bei der Baumusterprüfung ein geeignetes Prüfsystem vorsehen, mit dem er auch die Kontrolle bei der Auslieferung durchführt. In den Technischen Regeln werden zusätzlich wiederkehrende Kontrollen im Abstand von maximal drei Jahren gefordert, die in der Verantwortung des Arbeitgebers liegen. Beim ersten Test ist zu prüfen, ob jedes einzelne Produkt mit den bei der Baumusterprüfung getesteten Produkten übereinstimmt, d.h. vergleichbare Dämmwerte liefert. Bei den wiederkehrenden

Kontrollen soll festgestellt werden, dass sich die Eigenschaften der Otoplastik und ihr Sitz im Gehörgang (eventuelle Weitung des Gehörgangs) nicht geändert haben, so dass immer noch die gleiche Schutzwirkung gegeben ist. Für diesen Bereich kommen auch Systeme zum Einsatz, die keinen Wert für die Schalldämmung liefern, sondern die Dichtigkeit beurteilen. Das ist aber für Gehörschutz-Otoplastiken ausreichend, wenn entsprechende Grenzwerte vom Hersteller vorgegeben sind. Zusätzlich lassen sich bei diesen Untersuchungen auch Benutzungsfehler wie falsches Einsetzen identifizieren und korrigieren.

5.7 Sensibilisierung für die Themen Lärm und Gehörschutz

Soll, z. B. im Rahmen von Gesundheits- oder Arbeitsschutztagen im Betrieb, das Thema Lärm und Lärmschutz angesprochen werden, können Systeme zur Bestimmung der individuellen Schutzwirkung zum Einsatz kommen. Hier steht nicht eine quantitative Aussage zur Schalldämmung im Vordergrund, sondern qualitative Erkenntnisse, z.B., dass die Schutzwirkung durch schlechtes Einsetzen stark reduziert wird.

6 Funktionsweise der Messsysteme zur Bestimmung der individuellen Schutzwirkung

6.1 Allgemeines

Der Bezugswert („Goldstandard“) für die Schalldämmung von Gehörschutz ist das sog. REAT-Verfahren („Real ear attenuation at threshold“) nach DIN EN ISO 4869-1:2019, das auch bei der Baumusterprüfung angewendet wird. Dabei wird in einem diffusen Schallfeld die Hörschwelle der Versuchsperson zweimal gemessen: einmal mit Gehörschutz und einmal ohne. Die Messung erfolgt mit terzbandbreitem Rauschen bei den acht Oktavbandmittelfrequenzen von 63 bis 8000 Hz. Die Hörschwelle wird meist über ein Eingabelungsverfahren (z. B. nach Békésy) ermittelt. Dabei werden die Pegel des Prüfsignals mehrmals abwechselnd bis zur Wahrnehmung durch die Versuchsperson erhöht und anschließend bis zur Nichtwahrnehmung reduziert und so der Hörschwellenpegel nach oben und unten eingegrenzt.

Dieses Verfahren liefert Aussagen über die Stichprobe von 16 Versuchspersonen (Mittelwert, Standardabweichung) und erfordert entsprechend den Vorgaben der Norm einen Raum mit sehr niedrigen Störgeräuschpegeln und einem diffusen Schallfeld.

6.2 f-MIRE-Verfahren

Das sogenannte f-MIRE-Verfahren („Field microphone in real ear“) ist eine objektive Messmethode, die nicht auf die aktive Mitwirkung des Gehörschutzbenutzers oder der -benutzerin angewiesen ist. Dabei wird mit Hilfe von zwei Mikrofonen die Differenz zwischen dem Pegel im Ohr unter dem Gehörschutz und außerhalb des Ohres direkt an der Concha ermittelt. Es ist zu beachten, dass diese Messgröße („Noise reduction“) nicht direkt der Schalldämmung eines Gehörschutzstöpsels („Insertion loss“, Einfügungsdämmung) entspricht. Für die Einfügungsdämmung müsste zweimal an derselben Stelle des Gehörgangs gemessen werden, mit und ohne Gehörschutz. Dies wird durch Korrekturfaktoren bei der Angabe der ermittelten Dämmwerte berücksichtigt. Das grundlegende Verfahren der Messung im Ohrkanal (MIRE) ist in der Norm DIN EN ISO 11904-1:2003 beschrieben.

Als Schallquelle können Lautsprecher oder Kopfhörer verwendet werden. Diese strahlen ein Rauschsignal ab. Das Verfahren erlaubt es, mehrere Frequenzen bzw. Frequenzbänder gleichzeitig zu testen (125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 und 8000 Hz). Sobald beide Ohren

gemessen worden sind, wird ein individueller Dämmwert (PAR) berechnet.

Die f-MIRE-Verfahren sind nur für speziell präparierte Gehörschützer anwendbar, an die die zwei Mikrofone angeschlossen werden können.

6.3 Audiometrische Verfahren

Ein vom Prinzip her zur REAT-Methode ähnliches Verfahren lässt sich mit Hilfe eines Audiometers realisieren. Auch hier wird die Hörschwelle des Gehörschutzbenutzers bzw. der -benutzerin mit und ohne Gehörschutz gemessen. Da mit diesem Verfahren personenbezogene Daten ermittelt werden, darf aufgrund des Datenschutzes eine solche Messung nur vom betriebsärztlichen Dienst durchgeführt werden.

Von den Betroffenen wird ein Tonaudiogramm aufgenommen. Dabei ist die Mitarbeit der Person notwendig (subjektives Verfahren). Das System oder der Untersucher bzw. die Untersucherin spielen der Reihe nach bestimmte Töne mit wachsender Lautstärke über Kopfhörer oder Lautsprecher ab (ansteigende Pegel).

Hört die Versuchsperson das Signal nicht, wird die Lautstärke erhöht (bei Screening-Tonaudiometern in 5 Dezibel-Schritten).

Durch Drücken eines Tasters signalisiert der Gehörschutzbenutzer bzw. die -benutzerin, dass der Ton gehört wurde, und der Vorgang wird wiederholt, bis die Hörschwelle genau festgestellt ist. Der festgestellte Dezibel-Wert für jede geprüfte Frequenz wird als Hörschwelle in ein genormtes Formular eingetragen.

Beim Gehörschutztest wird die Bestimmung der Hörschwelle zusätzlich mit Gehörschutz durchgeführt. Durch Vergleich der beiden Werte kann auf die tatsächliche Schalldämmung geschlossen werden.

Im Unterschied zum immer in einem diffusen Schallfeld durchgeführten REAT-Verfahren sind die Schallquellen bei der Audiometrie meist Kopfhörer. Es ist aber auch möglich, mit einem Lautsprecher eine Freifeldaudiometrie durchzuführen.

Im Gegensatz zum REAT-Verfahren werden als Prüfsignale bei der Audiometrie Sinustöne verwendet. Die Hörschwelle kann dabei entweder mit monoton

ansteigenden Pegeln bestimmt werden oder mittels des Eingabelungsverfahrens (siehe Abschnitt 6.1).

6.4 Audiometrie-ähnliche Verfahren

Die von verschiedenen Herstellern angebotenen audiometrie-ähnlichen Messsysteme arbeiten nach dem gleichen Messprinzip wie in der Medizin übliche Audiometer. Diese Geräte sind nicht für eine Bestimmung der Hörschwelle nach dem Grundsatz G 20 vorgesehen.

Daher entfällt die Verpflichtung zur regelmäßigen Kalibrierung gemäß Medizinproduktebetrieberverordnung.

Außerdem können verschiedene Prüfsignale und Kopfhörer verwendet werden.

6.5 Lautstärkevergleich

Ein weiteres subjektives Messverfahren basiert auf subjektiv festgestellten Unterschieden in der wahrgenommenen Lautstärke (Lautstärkevergleich). Die Lautstärke der über Kopfhörer angebotenen Signale ist auf beiden Ohren gleich einzustellen. Dies wird für drei

Situationen durchgeführt: beide Ohren offen, ein Ohr mit Gehörschutz und beide Ohren mit Gehörschutz. Daraus lässt sich der Dämmwert der verwendeten Gehörschutzstöpsel für jedes Ohr getrennt berechnen. Es ist genauso möglich, den dritten Vergleich allein mit dem Stöpsel auf dem zweiten Ohr durchzuführen. Welche Variante verwendet wird, hängt vom konkreten Messsystem ab.

Die Messung wird nicht an der Hörschwelle durchgeführt, sondern bei deutlich höheren Pegeln im Bereich von 60 dB(A).

6.6 Akustischer Leckagetest [6]

Bei diesem objektiven Verfahren wird in die Gehörschutzstöpsel der Sensor bestehend aus Mikrofon und Lautsprecher eingesetzt. Im Gehörgang wird ein tief-frequentes Geräusch aus zwei Tönen erzeugt. Bei einer Leckage ist der Pegel vor allem im tieffrequenten Bereich reduziert, hat aber bei etwas höheren Frequenzen durch Resonanzeffekte eine Überhöhung. Daher erlaubt die resultierende Pegeldifferenz der beiden Töne im Ohrkanal einen Rückschluss auf die Dichtigkeit. Hier ist die Schalldämmung nicht quantitativ bestimmbar. Der

Hersteller kann nur Richtwerte angeben, welche Dämmung z. B. bei 250 Hz zu erwarten wäre.

6.7 Druckprüfung

Bei der Druckprüfung handelt es sich um ein objektives Verfahren, das nur für Gehörschutz-Otoplastiken anwendbar ist. Dabei wird über eine Pumpe ein Druck zwischen Trommelfell und Gehörschutz-Otoplastik im Ohrkanal aufgebaut. Aus dem erreichten Überdruck beim Anstieg bzw. dem Restdruck bei Abfall nach verfahrensbedingt festgelegten Zeiten wird auf die Dichtigkeit bzw. Leckage der Otoplastik geschlossen.

Bei einer Otoplastik mit Filterelement (Kanalfilter, Schraubfilter, Membranfilter) kann der Druck über die Bohrung des herausgenommenen Filterelementes erzeugt werden. Alternativ kann der Druck bei niedrig dämmenden Filtern oder Filterelementen mit geringem Strömungswiderstand durch das Filterelement hindurch aufgebaut werden.

Bei einer Otoplastik ohne Filter erfolgt der Druckaufbau zwischen Otoplastik und Trommelfell über einen an die Servicebohrung angeschlossenen Messschlauch.

Bei einer Otoplastik ohne Filterelement und ohne Servicebohrung kann der Druckaufbau nur über einen an der Otoplastik vorbeigeführten in situ-Schlauch erfolgen, wovon wegen der möglichen Zusatzleckage aber abzuraten ist. Für diese Produkte ist ein geeignetes akustisches Messverfahren zu empfehlen. Der Zusammenhang zwischen Druckverhalten, Leckage und verminderter Dämmwirkung des Gehörschutzes ist zurzeit nicht eindeutig geklärt.

6.8 Zusammenfassung

Tabelle 3 enthält eine Übersicht über die Eigenschaften der verschiedenen Messmethoden.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Charakteristika der Messmethoden

Methode/ Parameter	Schallpegelmessungen mit Mikrofonen im Ohr (F-MIRE)		Audiometrische Verfahren		Audiometrie-ähnliche Verfahren		Lautstärke- vergleich	Akust. Leckagetest	Druck- prüfung
	Mit Kopfhörer	Mit Laut- sprecher	Mit Kopfhörer	Mit Laut- sprecher	Mit Kopfhörer	Mit Laut- sprecher			
Prinzip	Differenz der Schallpegel mit und ohne Gehörschutz	Differenz der Hörschwellen mit und ohne Gehörschutz	Differenz der Hörschwellen mit und ohne Gehörschutz	Differenz der Hörschwellen mit und ohne Gehörschutz			Lautstärke- vergleich mit und ohne Gehörschutz	Schallpegel- differenz (tieffrequenter Bereich)	Messung von Druckaufbau oder Druck- abnahme
Benutzer- beteiligung	Nein – objektive Messung	Nein – objektive Messung	Ja – subjektive Messung	Ja – subjektive Messung	Ja – subjektive Messung		Ja – subjektive Messung	Nein – objektive Messung	Nein – objektive Messung
Testsignal	Breitband oder bandbe- grenzt tieffrequent	Reinton	Reinton	Schmalband oder Reinton			Reinton oder Schmalband- signale	Tieffrequente Töne	Entfällt
Schallfeld	Kopfhörer 80 dB(A)	Freifeld ca. 0,5 m 80 dB(A)	Kopfhörer 40 dB(A)	Freifeld ≥ 1 m 25 dB(A)	Kopfhörer 40 dB(A)	Freifeld ca. 0,5 m 25 dB(A)	Kopfhörer 70 dB(A)	Schallquelle im Stöpsel 80 dB(A)	Entfällt keine Ein- schränkung
Gemessene Frequenzen	125 bis 8000 Hz oder bandbegrenzt Rauschen	125 bis 8000 Hz oder ausgewählte Frequenzen	125 bis 8000 Hz oder ausgewählte Frequenzen	Einzelne oder mehrere Töne oder Schmalbandgeräusche im Bereich von 125 bis 8000 Hz			250 bis 8000 Hz	tiefe Frequenzen	keine
Zeitauf- wand*	5 min	5-15 min**	5-15 min**	5-15 min**			10 min	5 min	5 -10 min

* inklusive Vorbereitungszeit, Unterweisung der Gehörschutzbenutzer, Durchführung der Messung, ohne Zeitaufwand für die Inbetriebnahme der Messeinrichtung
 ** Der Zeitaufwand hängt von der Anzahl der gemessenen Frequenzen ab und kann in Ausnahmefällen größer sein.

7 Informationen zur Durchführung der einzelnen Verfahren

Für die Prüfung wird der Gehörschützer von der Testperson selbst eingesetzt.

Ihr sollte die Gelegenheit gegeben werden, den Sitz des Gehörschutzes mit einem möglichst tieffrequenten Geräusch zu optimieren.

7.1 f-MIRE – Technik

Voraussetzung für die Durchführung der Messungen ist der Einsatz von Gehörschützern, an die die Mikrofone entweder über einen Schallschlauch oder durch direktes Einsetzen (in eine Otoplastik) angekoppelt werden können.

Systemabhängig muss entweder vor jeder Testserie oder vor jedem einzelnen Test das Mikrofon kalibriert werden.

Verfahren 1: Das externe Mikrofon wird mit dem Test-Gehörschützer verbunden. Die Kalibrierung wird durchgeführt. Der Gehörschutz mit Mikrofon wird eingesetzt und die Dämmung wird bestimmt.

Verfahren 2: Das Mikrofon wird kalibriert. Der Gehörschutz wird eingesetzt, das Mikrofon angeschlossen und die Dämmung wird bestimmt. Dabei ist darauf zu achten, dass beim Verbinden der

Sitz des Gehörschützers im Ohr nicht verändert wird.

Alle Frequenzen werden gleichzeitig gemessen. Die Messung dauert meist einige Sekunden pro Ohr. Überwiegend werden beide Ohren/Gehörschützer gleichzeitig vermessen.

7.2 Audiometrische Verfahren

Bei der audiometrischen Bestimmung der individuellen Schutzwirkung ist eine Messung ab 250 Hz mit mindestens drei Frequenzen (z. B. 250, 500 und 1000 Hz) zu empfehlen. Für den Vergleich mit den Werten der Baumusterprüfung sind nur Messungen bei den Oktavbandmittenfrequenzen (d.h. 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1kHz, 2 kHz, 4 kHz und 8 kHz) sinnvoll. Hohe Frequenzen zeigen Leckagen deutlich schwächer oder gar nicht. Tiefe Frequenzen hingegen reagieren trotz höherer Messunsicherheit stärker auf Leckagen. Wenn mit ausreichender Genauigkeit durchführbar, sollte trotz relativ hohem Arbeitsaufwand eine Erweiterung auf 125 Hz erfolgen.

Im Rahmen der Gehörvorsorge gemäß dem Grundsatz G 20 werden Frequenzen bis hinauf zu 8 kHz gemessen. Es

bietet sich an, für diese Frequenzen die Hörschwelle auch mit Gehörschutz zu ermitteln. Dies ermöglicht die Berechnung eines individuellen L-Wertes, der mit dem Ergebnis aus der Baumusterprüfung verglichen werden kann (siehe Abschnitt 8.2.3).

Voraussetzungen für die Durchführung der kopfhörangebundenen Audiometrie:

- Ruhige Umgebung mit $L_{Aeq} \leq 40$ dB [7]
- Kopfhörer mit ausreichender Schalldämmung (entsprechend DIN EN ISO 389-8:2004)

Eine weitere Voraussetzung für die Nutzung des Audiometers ist ein ausreichender Freiraum zwischen Gehörschutzstöpsel und Audiometrie-Kopfhörer. Insbesondere bei Otoplastiken mit Griff besteht die Gefahr des Anstoßens. Das führt zur Ablehnung des Verfahrens durch die Gehörschutzbenutzerin oder den Gehörschutzbenutzer (Druckschmerz) oder/und zum Verkratzen der Otoplastik mit Vortäuschung einer Leckage oder zum besseren Sitz der Otoplastik im Ohrkanal und damit vermeintlich höherer Dämmung.

Voraussetzungen für die Durchführung der Freifeld-Audiometrie:

- Ruhige Umgebung mit $L_{Aeq} \leq 25$ dB [7]
- Gepulste Wiedergabe des Signaltones

Eine weitere Voraussetzung für die Nutzung eines Freifeld-Audiometers sind die akustischen Eigenschaften der verwendeten Lautsprecher und des Prüfraumes entsprechend DIN EN ISO 8253-2:2010 bzw. DIN EN ISO 8253-3:2012. Lautsprecher und Raum müssen eine der folgenden Feldeigenschaften erfüllen:

- Freies Schallfeld
- Diffuses Schallfeld
- Quasi-freies Schallfeld

In der Praxis wird es nicht immer möglich sein, die Anforderungen des freien oder diffusen Schallfeldes zu erfüllen; daher wird ein drittes, das quasi-freie Schallfeld, für diese Zwecke in der Norm beschrieben. Die Einhaltung der folgenden Anforderungen ist Nutzungsvoraussetzung für den Raum und die Lautsprecher.

Bedingungen für ein quasi-freies Schallfeld:

- Abstand zwischen Bezugspunkt und Lautsprecher ≥ 1 m,
- Schalldruckpegeländerung horizontal und vertikal in 0,15 m Abstand vom Bezugspunkt $\leq \pm 2$ dB,
- Abweichung des erzeugten Schalldruckpegels auf der Bezugsachse 0,10 m vor und 0,10 m hinter dem Bezugspunkt $\leq \pm 1$ dB vom theoretischen Wert nach dem inversen Abstands-gesetz.

1. Ablauf des Verfahrens bei Nutzung der Audiometrie-Frequenzen nach G 20 (Lärm I) mit zusätzlichen Frequenzen 250 und 500 Hz

1. Audiometereinstellung auf: Pegelsprungweite = 5 dB, maximaler Ausgangspegel $L_f = 80$ dB, gepulstes Signal, aufsteigende Hörschwellenbestimmung.
2. Bestimmung der Hörschwellen beginnend mit 1 kHz, dann 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz, 500 Hz und 250 Hz nach üblichem Verfahren der Audiometrie, beschrieben in DIN EN ISO 8253-1:2011 mit Aufzeichnung im Audiometer.
3. Kopfhörer abnehmen und Einsetzen des Gehörschutzes ohne Beeinflussung der Versuchsperson und ohne

die Situation (z. B. Sitzposition) zu verändern.

4. Audiometereinstellung auf: Pegelsprungweite = 5 dB, maximaler Ausgangspegel $L_f = 90$ dB
5. Bestimmung der Hörschwellen mit Gehörschutzstöpsel auf demselben Datenblatt bei Nutzung eines Audiometers mit Gehörschutzmodul oder zweite Messung, ohne die Einstellung bezüglich Pegelsprünge zu verändern (1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz, 500 Hz und 250 Hz).
Anmerkung: Abhängig vom Audiometer ist es möglich, dass die Frequenzen 3 kHz und 6 kHz zwangsläufig mitgemessen werden müssen.
6. Nach den beiden Messungen kann der Untersucher bzw. die Untersucherin die beiden Audiogramme unter Berücksichtigung der Schalldämmung des benutzten Gehörschutzes für die betrachtete Frequenz vergleichen.
7. Auffällige Ergebnisse: Auffällige Einzelwerte sollten nachgemessen werden, was durch Nachprüfung einzelner Frequenzen (bei manuellem Betrieb) oder durch einen zweiten Prüfdurchgang (Automatikbetrieb) erfolgt.

2. Ablauf des Verfahrens bei Nutzung der Prüffrequenzen 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz

1. Audiometereinstellung auf: Pegelsprungweite = 5 dB, maximaler Ausgangspegel $L_f = 80$ dB, gepulstes Signal, aufsteigende Hörschwellenbestimmung.
2. Bestimmung der Hörschwellen beginnend mit 1 kHz, 500 Hz, dann 250 Hz entsprechend dem Verfahren der Audiometrie, beschrieben in DIN EN ISO 8253-1:2011 mit Aufzeichnung im Audiometer.
3. Kopfhörer abnehmen und Einsetzen des Gehörschutzes ohne Beeinflussung der Versuchsperson und ohne die Situation (z. B. Sitzposition) zu verändern.
4. Audiometereinstellung auf: Pegelsprungweite = 5 dB, maximaler Ausgangspegel $L_f = 90$ dB
5. Messung der Hörschwellen mit Gehörschutz bei 1 kHz, 500 Hz, und 250 Hz.
6. Auffällige Ergebnisse: Auffällige Einzelwerte sollten nachgemessen werden, was durch Nachprüfung einzelner Frequenzen (bei manuellem Betrieb) oder durch einen zweiten Prüfdurchgang (Automatikbetrieb) erfolgt.

3. Ablauf des Verfahrens bei Nutzung der Einzelprüffrequenz von 500 Hz

1. Audiometereinstellung auf: Pegelsprungweite = 5 dB, maximaler Ausgangspegel $L_f = 80$ dB, gepulstes Signal, aufsteigende Hörschwellenbestimmung.
2. Bestimmung der Hörschwellen bei 500 Hz entsprechend dem Verfahren der Audiometrie.
3. Kopfhörer abnehmen und Einsetzen des Gehörschutzes ohne Beeinflussung der Versuchsperson und ohne die Situation (z. B. Sitzposition) zu verändern.
4. Audiometereinstellung auf: Pegelsprungweite = 5 dB, maximaler Ausgangspegel $L_f = 90$ dB.
5. Bestimmung der Hörschwelle für 500 Hz mit Gehörschutz.
6. Auffällige Ergebnisse: Auffällige Einzelwerte sollten nachgemessen werden.

Das audiometrische Verfahren sollte nur im betriebsärztlichen Dienst unter Aufsicht des Betriebsarztes bzw. der Betriebsärztin oder durch ihn bzw. sie selbst durchgeführt werden (siehe auch Abschnitt 12).

7.3 Audiometrie-ähnliche Verfahren

Diese Geräte sind typischerweise speziell für die Bestimmung der individuellen Schalldämmung entwickelt. Daher bieten sie meist weniger Variationsmöglichkeiten in der Messdurchführung als reine Audiometer.

Falls die Möglichkeit besteht, mehrere Frequenzen zu messen, empfiehlt es sich auch hier, mindestens drei Frequenzen zu messen, wobei 500 Hz enthalten sein sollte. Ein Schnelltest, der nur bei einer Frequenz arbeitet (meist 500 Hz), hat nur eine begrenzte Genauigkeit und Aussagekraft.

Falls das System mit einem Kopfhörer betrieben wird, ist auf einen maximalen Störschallpegel von 40 dB(A) zu achten. Der Kopfhörer sollte gut um das Ohr herum abdichten und genug Freiraum zum Gehörschutzstöpsel bieten, so dass der Sitz des Stöpsels nicht beeinflusst wird (siehe auch Abschnitt 7.2).

Bei Geräten, die mit einem Lautsprecher (im Freifeld) arbeiten, entfällt diese Einschränkung und es sind prinzipiell alle Arten von Gehörschutzstöpseln und unter Umständen auch

Kapselgehörschützer messbar. Allerdings muss hier der Störschallpegel mit maximal 25 dB(A) noch deutlich niedriger liegen. Insbesondere für solche Systeme ist der Einsatz von gepulsten Tönen zu empfehlen, um die Störschallanfälligkeit zu reduzieren, falls hier eine Wahlmöglichkeit besteht.

Die eigentliche Messung erfolgt nach den Vorgaben des Systems. Es sind wie beim Audiometer die Hörschwellen mit und ohne Gehörschutz zu bestimmen. Die Art der Hörschwellenbestimmung (aufsteigend, Eingabelung, Wiederholungen etc.) hängt vom spezifischen System ab. Falls Verfahren verwendet werden, die sich stark von der klassischen Audiometrie unterscheiden und dem Gehörschutzbenutzer daher nicht bekannt sind, empfiehlt es sich, Probendurchgänge durchzuführen, um die Reproduzierbarkeit zu erhöhen.

Auch die Beurteilung der individuellen Schalldämmwerte kann zwischen den Systemen variieren. Bezugsgrößen können die Dämmwerte aus der Baumusterprüfung sein (z. B. Mittelwert, Mittelwert abzüglich Standardabweichung ...) oder vom Hersteller festgelegte Mindestwerte. Bei der Messung mehrerer Frequenzen wird oft ein Einzahlkennwert

berechnet, aber auch dafür gibt es verschiedene Ansätze mit unterschiedlichen Bezeichnungen (z. B. PAR, pSNR, PSNA). Teilweise entsprechen die Größen den bekannten Werten aus der Baumusterprüfung, die für die Gruppe der Versuchspersonen ermittelt wurden. Falls hier Zweifel bestehen, sollte der Hersteller des Messsystems kontaktiert werden (siehe auch Abschnitt 2).

7.4 Lautstärkevergleich

Diese Systeme arbeiten mit Kopfhörern, da während der Messung der Höreindruck der beiden Ohren miteinander verglichen werden muss. Daher ist auch hier, wie in den Abschnitten 7.2 und 7.3 beschrieben, auf ein ausreichendes, freies Volumen unter dem Kopfhörer zu achten. Da das Prüfverfahren überschwellig arbeitet, sind die Anforderungen an die Umgebungsgeräusche gering und die Messungen können in einem normalen Raum durchgeführt werden.

Die Art der Prüfgeräusche (Sinustöne oder Schmalbandrauschen) hängt vom jeweiligen System ab. Typischerweise werden die Signale abwechselnd (ca. alle 0,5 s) dem rechten und linken Ohr dargeboten. Der Pegel auf einem

Ohr bleibt fix, während der Gehörschutzbenutzer oder die Gehörschutzbenutzerin den Pegel auf dem anderen Ohr so einstellen soll, dass er bzw. sie beide Signale gleich laut wahrnimmt. Dies kann für Personen, die mit dem Test nicht vertraut sind, schwierig sein, so dass sich Probedurchgänge empfehlen. Es existieren auch Umsetzungen des Messprinzips, bei denen die Versuchsperson jeweils ein Signal auf dem rechten und linken Ohr angeboten bekommt und sich entscheiden muss, welches lauter ist. Damit lässt sich der Pegel für die gleiche Lautstärke schrittweise eingrenzen.

Ähnlich wie bei den audiometrischen Methoden ist auch beim Lautstärkevergleich eine Messung bei mehreren Frequenzen aussagekräftiger.

Der Lautstärkevergleich wird normalerweise dreimal durchgeführt. Zuerst komplett ohne Gehörschutz, um eine eventuelle Asymmetrie zwischen den Ohren zu erfassen. Danach wird ein Gehörschutzstöpsel eingesetzt. Der dritte Durchgang kann mit dem anderen Stöpsel gemacht werden oder mit beiden. Es kann sein, dass sich die Hörempfindung zwischen einem Ohr mit Gehörschutz und einem Ohr ohne Gehörschutz etwas

unterscheidet. Auch dies erfordert Erfahrung bei den Versuchspersonen. Aus den Pegeldifferenzen zwischen den beiden Ohren für die drei gemessenen Situationen lässt sich für jeden Stöpsel ein Dämmwert berechnen.

Für die Beurteilung der Dämmwerte gilt das in Abschnitt 7.3 Gesagte: Die Bezugsgrößen und evtl. berechnete Einzahlkennwerte hängen vom spezifischen Messsystem ab.

7.5 Akustischer Leckagetest

Die Messsonde mit Mikrofon und Lautsprecher ist vor der Messung zu kalibrieren. Danach kann die Sonde in den zu prüfenden Gehörschutzstöpsel eingesetzt werden und dieser ins Ohr der Versuchsperson. Die Messung ist kaum störanfällig und kann bei normalen Umgebungspegeln durchgeführt werden.

Nachdem für ca. 20 s das Prüfgeräusch im Ohrkanal erzeugt und die dort resultierenden Schallpegel gemessen wurden, zeigt das Gerät durch Farbkodierung an, ob der Gehörschutz ausreichend dicht sitzt. Nach Angaben des Herstellers ist bei einem guten Sitz (Anzeige grün) mit einer Dämmung von

ca. 25 dB bei 250 Hz bei der Baumusterprüfung zu rechnen. Bei einem grenzwertigen Ergebnis (Anzeige orange bis rot) wären nur 15 dB bei 250 Hz zu erwarten.

7.6 Druckprüfung [8]

Bei der Druckprüfung wird im Gehörgang zwischen Otoplastik und Trommelfell ein Überdruck von bis zu 30 mbar aufgebaut. Es wird entweder der erreichte Maximaldruck (Druckanstiegsmethode) oder der Restdruck (Druckabfallmethode) ermittelt und mit einem Soll-Druckwert verglichen (siehe Abbildung 1).

Druckanstiegsmethode (Prüfung während des Druckaufbaus)

Bei dieser Methode wird der nach einer vorgegebenen Zeitdauer (bis zu einigen Sekunden) erreichte Überdruck (Druckwert) bestimmt. Die Höhe dieses Werts ist von der Leistung der Pumpe und von der Leckage der Otoplastik im Gehörgang abhängig. Pumpe und Manometer befinden sich vor der Otoplastik.

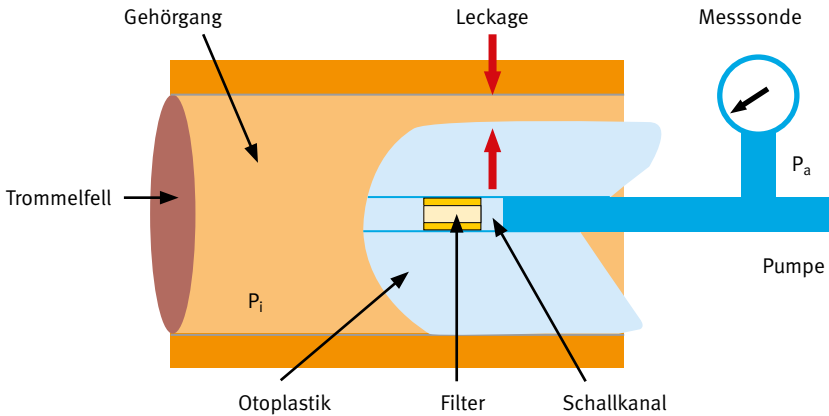


Abb. 1 Druckmessung im Gehörgang mit Otoplastik, Filter und Messsonde

a) Druckaufbau durch einen in situ-Schlauch oder das Filterelement im Schallkanal

In situ-Schläuche und hochdämmende Filterelemente (kleine Bohrungsdurchmesser) weisen einen mäßigen bis hohen Strömungswiderstand auf. Der Druck hinter der Otoplastik wird dann verzögert aufgebaut ($p_i < p_a$). Da der Druck vor der Otoplastik schneller ansteigt, wird häufiger ein fehlerhaftes Ergebnis „Otoplastik sitzt dicht“ angezeigt.

Niedrigdämmende Filterelemente (größere Bohrungsdurchmesser) weisen einen geringen bis mäßigen Strömungs-

widerstand auf. Der Druckaufbau hinter der Otoplastik wird nur geringfügig behindert ($p_i \sim p_a$). Leckagen werden überwiegend richtig angezeigt.

b) Druckaufbau durch eine Servicebohrung oder den Schallkanal (Filterelement entnommen)

Große Bohrungen weisen einen geringen Strömungswiderstand auf. Der Druck wird so ohne Verzögerung auch hinter der Otoplastik aufgebaut ($p_i = p_a$). Die Drücke vor der Otoplastik und im Gehörgang sind gleich. Leckagen werden richtig angezeigt.

Druckabfallmethode (Prüfung während des Druckabfalls)

Bei dieser Methode beginnt die Messung nach Ablauf einer vorgegebenen Pumpdauer oder bei stabilem Überdruck. Die Zuleitung wird luftdicht verschlossen und der zeitliche Druckverlauf beobachtet. Bei dichtsitzender Otoplastik bleibt der Druck erhalten. Bei einer Leckage fällt der Druck ab. Nach Ablauf der Beobachtungsdauer (üblicherweise 2 bis 5 s) wird der Restdruck ermittelt und mit einem Sollwert verglichen.

a) Druckaufbau durch einen in situ-Schlauch oder das Filterelement im Schallkanal

In situ-Schläuche und hochdämmende Filterelemente (kleine Bohrungsdurchmesser) weisen einen mäßigen bis hohen Strömungswiderstand auf. Der Druckabfall wird durch den Strömungswiderstand begrenzt. Die Luft staut sich hinter der Otoplastik und der Restdruck bleibt dort länger erhalten. Leckagen werden üblicherweise nicht erkannt und führen zum falschen Ergebnis „Otoplastik sitzt dicht“.

Niedrigdämmende Filterelemente mit größeren Bohrungsdurchmessern weisen einen geringen bis mäßigen Strömungswiderstand auf. Der Druckabfall wird nur geringfügig behindert ($p_i \sim p_a$). Leckagen werden überwiegend richtig angezeigt.

b) Druckaufbau durch eine Servicebohrung oder den Schallkanal (Filterelement entnommen)

Große Bohrungen weisen einen geringen Strömungswiderstand auf. Der Druck wird so ohne Verzögerung auch hinter der Otoplastik aufgebaut ($p_i = p_a$). Nach Abschalten der Pumpe und während der Beobachtungsdauer sind die Druckwerte vor der Otoplastik und im Gehörgang gleich. Leckagen werden richtig angezeigt.

Für genauere Informationen zur Methode der Druckprüfung sei auf die die FB AKTUELL FBPSA-001 „Druckprüfung zur Bestimmung der Leckage von Gehörschutz-Otoplastiken“ verwiesen.

8 Bewertungskriterien für die Ergebnisse (Beurteilung)

8.1 Allgemein

Um die individuelle Schutzwirkung beurteilen zu können, ist ein Bezugswert nötig. Drei verschiedene physikalische Größen kommen dafür in Frage:

- Schalldämmwerte aus der Baumusterprüfung, entweder als Oktavbandwerte oder als berechnete Größen wie HML- und SNR-Werte
- Restschallpegel am Ohr, z. B. maximal zulässige Expositionswerte oder ergonomische Werte (z. B. 70 bis 80 dB(A))
- Messgrößen bei der Druckprüfung (z. B. Restdruck nach Messzeit, maximal erreichbarer Überdruck)

8.2 Beurteilung auf Basis der Schalldämmwerte aus der Baumusterprüfung

8.2.1 Allgemein

Bei diesem Ansatz wird nur die Wirkung des Gehörschützers untersucht, ohne Berücksichtigung des Arbeitsplatzes, an dem er eingesetzt wird.

Typischerweise werden die Schalldämmwerte, die zur Gehörschutz-Auswahl verwendet werden, mit einem

Vertrauensniveau von 84 % berechnet (d.h. einem Wert von $\alpha = 1$ nach DIN EN ISO 4869-2:1995). So erhält man z. B. die APV-Werte in Oktavbändern aus Mittelwert minus Standardabweichung und für die HML- bzw. SNR-Werte werden die APV_{84} -Werte verwendet. Das bedeutet, dass die angegebenen Werte von 84 % aller Benutzer und Benutzerinnen erreicht oder überschritten werden, während die übrigen 16 % niedrigere Werte aufweisen. Dies muss beim Vergleich von individuellen Schalldämmwerten mit den Ergebnissen der Baumusterprüfung berücksichtigt werden.

Betrachtet man hingegen $\alpha = 2$, erhält man ein Vertrauensniveau von 98 %. Für die APV-Werte ist diese Größe einfach durch Mittelwert minus zweimal Standardabweichung gegeben. Für HML- und SNR-Werte ist eine umfangreichere Berechnung nötig (siehe DIN EN ISO 4869-2:1995).

Ein weiterer Aspekt ist die Frage, ob die individuellen Dämmwerte nur einen Mindestwert erreichen müssen (z. B. den APV_{98}) oder ob sie in einem Korridor von Zielwerten liegen müssen. Damit lassen sich auch unnötig hohe Dämmwerte (Überprotektion) ausschließen.

Dazu kann ähnlich zur Untergrenze mit einem $\alpha = 2$ eine obere Grenze mit $\alpha = -2$ (d.h. ein Vertrauensniveau von 2%) definiert werden.

8.2.2 Oktavbandwerte

Bei den meisten verfügbaren Systemen, die Dämmwerte messen, werden die Daten in Frequenzbändern ermittelt. Dabei kann die Anzahl der Frequenzen bei den Systemen unterschiedlich sein. Die ermittelten Werte können mit geeigneten Bezugswerten verglichen werden (siehe Abschnitt 8.2.1). Leckagen sind hauptsächlich in den tiefen Frequenzen sichtbar.

Zusätzlich kann auch ein graphischer Vergleich hilfreich sein, weil damit der gesamte Frequenzbereich auf einmal einsehbar ist. Dadurch lassen sich Ausreißer, die auf Fehlmessungen hinweisen können, bei einzelnen Frequenzen besser identifizieren. Die Graphik sollte die individuellen Werte und die Zielwerte (als Grenzwert oder als Korridor) enthalten. Dabei ist ein Vertrauensniveau von 84 bzw. 98% zu wählen. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für eine solche graphische Darstellung.

Je mehr Frequenzen, insbesondere im tieffrequenten Bereich, gemessen werden, umso genauer ist die Beurteilung des Gehörschützers möglich. 500 Hz sollte auf jeden Fall mitgemessen werden, besser aber auch 250 Hz, da sonst nur extreme Leckagen nachweisbar sind. Insbesondere wenn erhöhte Anforderungen an die Signalhörbarkeit gestellt werden, ist die Dämmung im tieffrequenten Bereich wesentlich. In solchen Fällen ist eine Messung, die 250 Hz und wenn möglich auch 125 Hz einschließt, zu empfehlen. [9]

Einige Systeme bieten einen sog. Schnelltest mit nur einer Frequenz, meist bei 500 Hz. Dies erlaubt aber nur eine grobe Abschätzung der Schalldämmung, vor allem für subjektive Messverfahren, da hier die Messunsicherheit größer ist. Im Prinzip kann der gemessene Wert mit dem Zielwert aus der Baumusterprüfung im entsprechenden Frequenzband verglichen werden (Vertrauensniveau 84 bzw. 98%). Wenn aber aus diesem einen Wert die Schalldämmung über den gesamten Frequenzbereich (ähnlich dem SNR-Wert) abgeschätzt werden soll, ist die Unsicherheit noch größer. Es gibt meist schon eine Korrelation zwischen einzelnen Frequenzbändern und Einzahlwerten wie

den HML- und SNR-Werten, aber der genaue Zusammenhang hängt von der konkreten Frequenzabhängigkeit der Schalldämmwerte ab und ist daher für jeden Gehörschützer unterschiedlich. [10]

8.2.3 HML- und SNR-Werte

Einige Systeme geben für die individuelle Messung Einzelkennwerte aus, die analog zu den HML- und SNR-Werten aus der Baumusterprüfung berechnet werden. Üblich ist der PAR (personal attenuation rating), der in den meisten Fällen wie der SNR-Wert aus den gewichteten Oktavwerten berechnet wird (siehe auch Abschnitt 2).

Anmerkung: In den USA werden Dämmwerte nach der Norm ANSI S12.68-2007 berechnet, so dass der PAR-Wert für manche Messsysteme auf der NRS_A (Noise Level Reduction Statistic for Use with A-Weighting) basiert. In diesem Fall kann der individuelle Dämmwert direkt vom A-bewerteten Schallpegel am Arbeitsplatz abgezogen werden (im Gegensatz zum SNR-Wert). [11]

Diese Werte können direkt mit den HML- und SNR-Werten aus der Baumusterprüfung verglichen werden, wobei beachtet werden muss, dass die Baumusterwerte auf einem Vertrauensniveau von 84 % basieren. Wenn ein Vertrauensniveau von 98 % betrachtet werden soll, ist eine zusätzliche Berechnung nötig.

Wenn das Messsystem nur Daten in Oktavbändern liefert, muss der Anwender die individuellen Entsprechungen zu HML- und SNR-Werten selbst berechnen.

Um Leckagen sichtbar zu machen, die sich am deutlichsten in den tiefen Frequenzen zeigen, ist der L-Wert am besten geeignet, da die anderen Werte (H, M und SNR) von den Dämmwerten im mittleren und hochfrequenten Bereich dominiert werden und daher weniger sensitiv auf die Dämmwerte unterhalb von 1000 Hz sind.

Falls das Messsystem nicht den gesamten Frequenzbereich von 125 bis 8000 Hz umfasst, können trotzdem HML- und SNR-Werte berechnet werden, indem in den Berechnungsvorschriften der DIN EN ISO 4869-2:1995 nur die vorliegenden Frequenzbänder berücksichtigt werden. Die so erhaltenen individuellen Werte müssen natürlich mit

entsprechenden Größen aus der Baumusterprüfung verglichen werden, d.h. die Berechnung für den eingeschränkten Frequenzbereich muss für die Werte der Baumusterprüfung ebenfalls durchgeführt werden.

8.2.4 Beispiel für die Beurteilung einer audiometrischen Messung

Anhand einer audiometrischen Messung sollen die oben beschriebenen Beurteilungsverfahren illustriert werden. Die verschiedenen Ansätze lassen sich genauso auf Schalldämmwerte anwenden, die mit audiometrie-ähnlichen Verfahren, f-MIRE oder dem Lautstärkevergleich ermittelt wurden.

Auswertung bei Betrachtung der Einzelfrequenzen

Ausgangspunkt sind für eine audiometrische Messung die zwei Hörschwellen mit und ohne Gehörschutz. Daraus berechnen sich die individuellen Dämmwerte. Tabelle 4 und Tabelle 5 enthalten zwei Datensätze von den Messungen desselben Gehörschützers, die im Folgenden ausgewertet werden. Die tiefste, in diesen Beispielen betrachtete Frequenz ist 250 Hz.

Tabelle 6 enthält die Schalldämmwerte der Baumusterprüfung für den betrachteten Gehörschützer. Aus Mittelwert und Standardabweichung wurden der APV_{84} und APV_{98} berechnet sowie die entsprechenden Größen für die oberen Schranken.

Tabelle 4: Individuelle Schalldämmwerte aus audiometrischer Messung, Beispiel 1

Frequenz in Hz	250	500	1000	2000	4000	8000
Hörschwelle ohne Gehörschutz in dB	0	5	5	0	5	5
Hörschwelle mit Gehörschutz in dB	20	25	30	30	30	40
Dämmwert in dB	20	20	25	30	25	35

Tabelle 5: Individuelle Schalldämmwerte aus audiometrischer Messung, Beispiel 2

Frequenz in Hz	250	500	1000	2000	4000	8000
Hörschwelle ohne Gehörschutz in dB	0	5	5	0	5	5
Hörschwelle mit Gehörschutz in dB	5	15	20	20	25	30
Dämmwert in dB	5	10	15	20	20	25

Tabelle 6: Schalldämmwerte der Baumusterprüfung für den in Tabelle 4 und Tabelle 5 getesteten Gehörschutz (MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung).
Für den Vergleich mit den Dämmwerten aus Tabelle 4 und Tabelle 5 sind nur die Dämmwerte ab 250 Hz relevant.

Frequenz in Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mittelwert in dB	17,5	19,1	21,0	22,1	23,9	23,3	21,1
Standardabweichung in dB	3,0	3,1	3,6	3,4	3,3	4,7	5,1
MW – 1SD (APV ₈₄) in dB	14,5	16,0	17,4	18,7	20,6	18,6	16,0
MW – 2SD (APV ₉₈) in dB	11,5	12,9	13,8	15,3	17,3	13,9	10,9
MW + 1SD in dB	20,5	22,2	24,6	25,5	27,2	28,0	26,2
MW + 2SD in dB	23,5	25,3	28,2	28,9	30,5	32,7	31,3

In Abbildung 2 sind die Werte aus Beispiel 1 mit den Ergebnissen der Baumusterprüfung graphisch dargestellt. Der Zielbereich für die individuellen Dämmwerte wäre zwischen den beiden äußeren, hellgrauen Linien. Werte, die außerhalb liegen, sind nur mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit mit den Ergebnissen der Baumusterprüfung vereinbar. Generell ist natürlich bei auffälligen Werten zu prüfen, ob die beiden gemessenen Hörschwellen plausibel erscheinen. Im vorliegenden Fall ist kein Dämmwert zu niedrig, so dass keine Leckage vorliegt. Die leichte Überschreitung des maximal angestrebten Wertes bei 8000 Hz ist als unkritisch zu betrachten. Generell kann der Wert bei 8000 Hz für die Beurteilung der Schutzwirkung außer Acht gelassen werden, da in diesem Bereich kein Einfluss der Passform auf die Schalldämmung zu erwarten ist, der nicht auch bei tieferen Frequenzen sichtbar wäre.

Abbildung 3 zeigt die Daten aus Beispiel 2 im Vergleich zur Baumusterprüfung. Dabei fällt auf, dass die Werte bei 250 und 500 Hz deutlich außerhalb des Zielbereichs liegen. Es ist daher davon auszugehen, dass eine Leckage vorliegt und der Sitz bzw. die Dämmwirkung nicht ausreichend ist. Wenn sich bei einer Wiederholung der Messung auch nach erneutem, sorgfältigem Einsetzen ähnliche Werte ergeben, sollte ein anderer Gehörschutz gewählt oder, im Fall einer Gehörschutz-Otoplastik, ein neues Produkt angefertigt werden.

Auf den Internet-Seiten des IFA findet sich eine Webanwendung, die nach Eingabe der individuellen Hörschwellen und der Werte der Baumusterprüfung die entsprechenden Berechnungen durchführt und eine Graphik analog zu Abbildung 2 erstellt (www.dguv.de, Webcode d1181763).

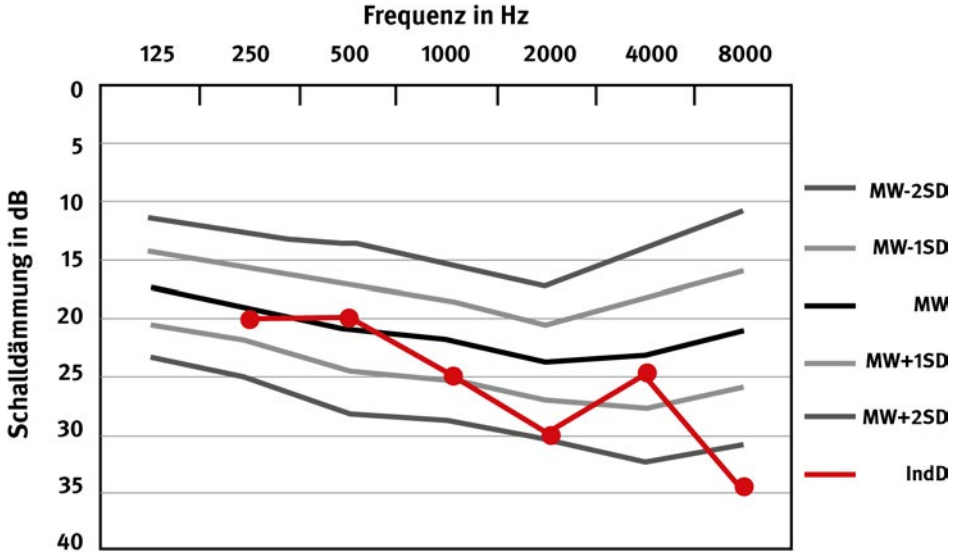


Abb. 2 Graphische Darstellung der Zahlenwerte aus Tabelle 4 und Tabelle 6 zum Vergleich der individuellen Dämmwerte (IndD) mit den Werten der Baumusterprüfung.

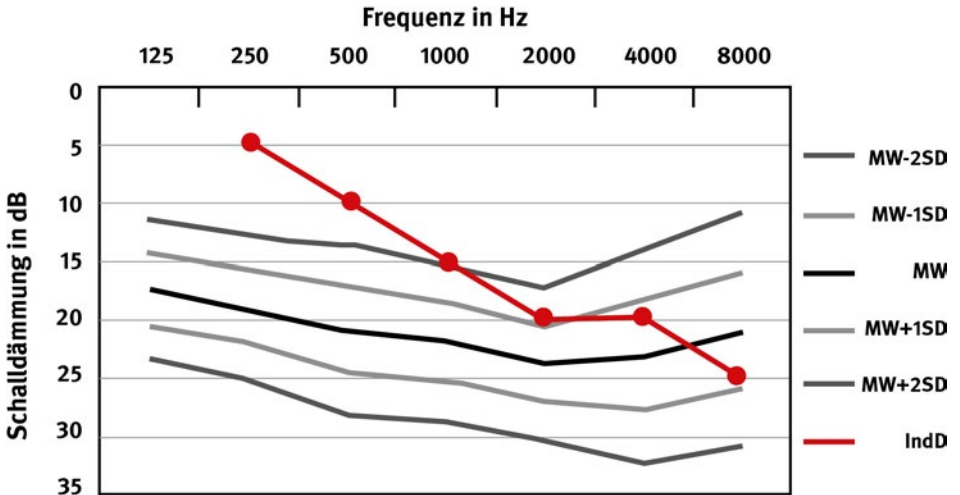


Abb. 3 Graphische Darstellung der Zahlenwerte aus Tabelle 5 und Tabelle 6 zum Vergleich der individuellen Dämmwerte (IndD) mit den Werten der Baumusterprüfung.

Verwendung des L-Wertes als Entscheidungsgröße

Falls keine graphische Darstellung gewünscht oder möglich ist, können Einzahlkennwerte zur Beurteilung verwendet werden. Bei der Kontrolle auf Leckagen bietet sich hier der L-Wert an. Die Berechnung im Folgenden erfolgt dabei nach dem Verfahren der DIN EN ISO 4869-2:1995. Der L_{84} entspricht dem L-Wert aus der Benutzerinformation für den kompletten Frequenzbereich. Für den individuellen L-Wert und den L_{98} muss die Berechnung aber jeweils vom Benutzer bzw. der Benutzerin durchgeführt werden. Die oben genannte Webanwendung des IFA erlaubt auch die Berechnung des individuellen L-Wertes und des L_{98} für die jeweils gemessenen Frequenzen.

Für die Beurteilung anhand des L-Wertes sollten mindestens vier Frequenzen nicht höher als 2 kHz (z. B. 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz und 2 kHz) verfügbar sein, da sonst die Aussagekraft zu gering ist. Bei weniger als vier Frequenzen sollte auf eine Beurteilung anhand der einzelnen Frequenzen, wie oben gezeigt, zurückgegriffen werden. [12]

Tabelle 7 zeigt die berechneten L-Werte für das erste Beispiel im Frequenzbereich von 250 bis 8000 Hz. Das individuelle Ergebnis liegt mit 22 dB deutlich über dem L_{98} von 14 dB, so dass die individuelle Schalldämmung mit der Baumusterprüfung vereinbar ist. Dies ist in Übereinstimmung mit der graphischen Beurteilung aus Abbildung 2.

Tabelle 7: Berechnete L-Werte für die Daten in Tabelle 4 und Tabelle 6. Berechnung nach DIN EN ISO 4869-2:1995 für den Frequenzbereich von 250 bis 8000 Hz.

Individueller L-Wert in dB	22
L_{84} aus Baumusterprüfung in dB	18
L_{98} aus Baumusterprüfung in dB	14

Für Beispiel 2 ergibt sich jedoch nur ein L-Wert von 9 dB, siehe Tabelle 8. Somit wird der L_{98} sicher nicht erreicht und es ist von einer Leckage auszugehen.

Tabelle 8: L-Werte für die Daten in Tabelle 4 und Tabelle 6 im Frequenzbereich von 250 bis 8000 Hz.

Individueller L-Wert in dB	9
L_{84} aus Baumusterprüfung in dB	18
L_{98} aus Baumusterprüfung in dB	14

8.2.5 Beispiel für die Beurteilung einer Messung mit der f-MIRE-Technik

Der PAR wird in der Regel direkt über eine Software berechnet. Der PAR-Wert wird mit einer Unsicherheit angegeben, siehe Abschnitt 9. Für den Vergleich mit Zielgrößen wird in diesem Beispiel die Unsicherheit vom Messwert abgezogen. Für die Gesamtbeurteilung wird der niedrigere Wert der beiden Ohren herangezogen, siehe Abbildung 4.

8.3 Beurteilung auf Basis des Restschallpegels am Ohr

Neben der oben beschriebenen Beurteilung der individuellen Dämmwerte anhand der Ergebnisse der Baumusterprüfung ist es auch möglich, aus den ermittelten Dämmwerten und der Exposition am Arbeitsplatz einen Restschallpegel am Ohr zu berechnen. Dieser Wert kann dann mit passenden Zielwerten verglichen werden wie den maximal zulässigen Expositionswerten

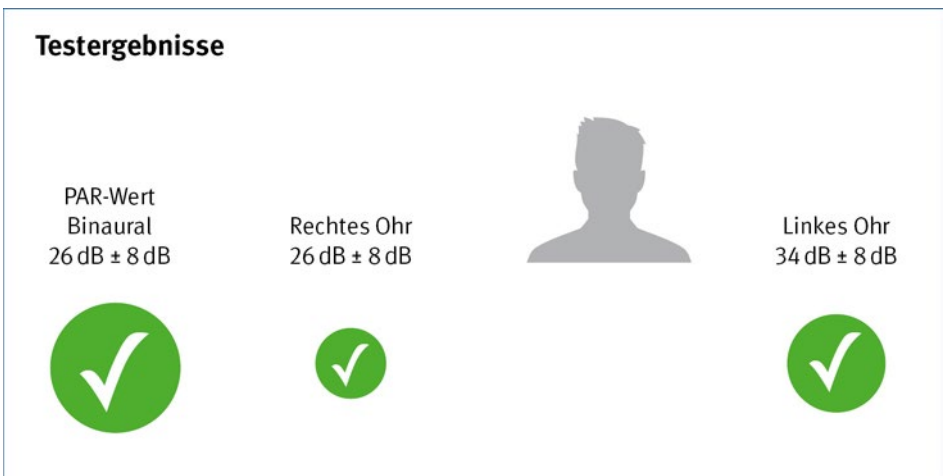


Abb. 4 Beispielhafte Testergebnisse eines handelsüblichen f-MIRE Systems und der Vergleich mit Zielwerten für die Schalldämmung (z. B. SNR-Wert aus der Baumusterprüfung)

aus der LärmVibrationsArbSchV (85 dB(A) für den Tages-Lärmexpositionspegel). Es kommen auch ergonomische Werte in Frage, z. B. 70 bis 80 dB(A).

Für die Berechnung des Restschallpegels muss die individuelle Lärmexposition bekannt sein, entweder als Oktavspektrum oder als A- bzw. C-bewerteter Schalldruckpegel. Je nachdem,

welche Größen verfügbar sind, kann der Restschallpegel mit den Verfahren der DIN EN ISO 4869-2:1995 anhand der Oktavband-Methode, der HML-Methode, dem HML-Check oder der SNR-Methode berechnet werden. Dazu werden die entsprechenden individuellen Dämmwerte (siehe Abschnitt 8.2) benötigt.

Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für die Beurteilung.

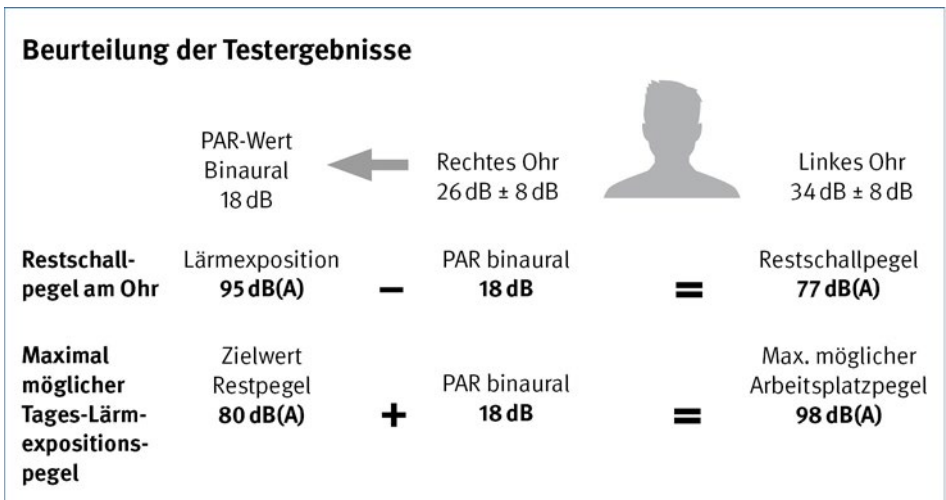


Abb. 5 Beispielhafte Beurteilung eines handelsüblichen f-MIRE Systems zum Vergleich mit Zielwerten für den Restpegel

8.4 Beurteilung auf Basis von Druckgrößen (Druckprüfung)

8.4.1 Druckanstiegsmethode – Betrachtung des maximal erreichbaren Drucks [13]

Die Anstiegszeit bis zum Erreichen des maximalen Drucks und damit auch des Systemdrucks hängt von der Leistung der Pumpe ab.

a. Otoplastik ohne Filter: Der Überdruck wird zwischen Otoplastik und Trommelfell erzeugt. Der Druckaufbau erfolgt über eine Servicebohrung oder alternativ über einen eingeführten in situ-Schlauch. Werden Drucksysteme über 20 mbar bis 30 mbar verwendet, müssen durch das Pumpen mindestens 25 % des Systemdrucks (Prüfdruck) erreicht werden. Bei einem niedrigeren Prüfdruck von 5 mbar müssen mindestens 4 mbar erreicht werden.

b. Otoplastik mit Filter: Die Funktionsfähigkeit des Filters sollte vor der eigentlichen Messung geprüft werden. Dazu kann die Otoplastik vorher im offenen Zustand geprüft werden. Bei einem verstopften Filterelement wird ein Überdruck erzeugt und so eine dichte Otoplastik vorgetäuscht.

Eine dichte Otoplastik kann auch vorgetäuscht werden, wenn das durch die Pumpe zur Verfügung gestellte Luftvolumen größer ist als das Volumen, welches durch die Filteröffnung ins Ohr abströmen kann.

8.4.2 Druckabfallmethode – Betrachtung des Restdrucks oder der Leckrate [14]

Interpretation:

- Eine Otoplastik ohne Filterelement oder mit Servicebohrung (Druckaufbau erfolgt über die Servicebohrung) ist dicht, wenn der Restdruck nach 5 s auf nicht weniger als 25 % des Prüfdrucks abgesunken ist.
- Falls die Messung durch das Filterelement erfolgen muss, muss der Strömungswiderstand des Filterelements bekannt sein.

Niedrigdämmende Filterelemente haben zwar größere Öffnungen, aber der Überdruck kann nicht abgebaut werden, wenn die Otoplastik dicht im Ohr sitzt.

Geht der Druck hinter der Otoplastik (am Ohr) schnell zurück, weil sie undicht ist, sinkt der Druck auf der Messseite dementsprechend schnell. Es wird der tatsächliche Wert des Druckes hinter der Otoplastik angezeigt.

Bei **hochdämmenden Filterelementen** wird die Luft so geblockt, dass der Druck lange bestehen bleibt und ein korrekter Mess-Wert erst nach einer längeren Zeit bestimmt werden kann.

Mögliche Lösung: Einbringen einer Servicebohrung und Verschließen des Filters. Dann fließt die Luft schnell ab und der Zeitverlauf des Druckabfalls oder der Restdruck nach einer bestimmten Zeit entspricht dem Druck zwischen Otoplastik und Trommelfell.

Kann das Filterelement ohne Gefahr einer Beschädigung aus der Otoplastik entfernt und wiedereingesetzt werden, sollte die Druckmessung durch den Schallkanal erfolgen. Die Bohrungsdurchmesser sind hier ausreichend groß.

9 Messunsicherheit der individuellen Messung

9.1 Allgemein

Prinzipiell gehört zu einem Messergebnis immer auch die Angabe einer Messunsicherheit. Die angegebene Messunsicherheit beschreibt das Intervall, in dem die Messwerte mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (Vertrauenswahrscheinlichkeit p %) liegen. Der Vertrauensbereich ist das Intervall $[Y-U; Y+U]$ um den vorliegenden Messwert Y . Daher ist die Angabe einer Messunsicherheit ohne dazugehörige Vertrauenswahrscheinlichkeit nicht sinnvoll. [15]

Bei einigen Systemen zur Bestimmung der individuellen Schutzwirkung wird automatisch eine Messunsicherheit ausgewiesen. Bei anderen wie audiometrischen Verfahren oder der Druckprüfung ist dies meist nicht der Fall.

Die Genauigkeit, d.h. die Übereinstimmung des Messergebnisses mit den Ergebnissen der Baumusterprüfung wird in diesem Dokument nicht behandelt.

Unabhängig vom Messsystem hat das Einsetzen des Gehörschützers den größten Einfluss auf das Messergebnis.

Bei subjektiven Verfahren ist durch die Beteiligung des Gehörschutzbenutzers (z. B. Erkennung der Hörschwelle) eine höhere Messunsicherheit zu erwarten als bei objektiven Verfahren.

Wenn mit einem Messsystem ein Einzahlkennwert angegeben wird, der von einem A-bewerteten Schalldruckpegel subtrahiert werden soll, ergibt sich ein zusätzlicher Beitrag zur Unsicherheit, da bei dieser Methode der spektrale Inhalt des Arbeitsplatzgeräusches nicht berücksichtigt werden kann. So ergeben sich z. B. für ein hoch- und ein tief-frequentes Geräusch, die denselben A-bewerteten Schalldruckpegel haben, rechnerisch dieselben Restpegel am Ohr, ohne dass die Frequenzabhängigkeit der Schalldämmung in die Rechnung eingeht, wie es z. B. bei den HML-Werten der Fall ist. [16]

9.2 Messunsicherheit der einzelnen Methoden

Für f-MIRE-Verfahren ist die Messunsicherheit der Schallpegelmessung im Ohrkanal und außen am Ohr relativ klein, allerdings entspricht die Differenz dieser beiden Pegel nicht exakt dem „Insertion loss“ aus REAT-Messungen. Es besteht aber die Möglichkeit, die f-MIRE-Dämmwerte an REAT-Daten zu kalibrieren und Korrekturwerte einzuführen. Da die Korrekturwerte auf Stichprobenmittelwerten der REAT-Daten beruhen, beinhalten sie eine gewisse Streuung, die sich auf die f-MIRE-Endergebnisse überträgt. So kann ein System z. B. eine Unsicherheit für den ermittelten PAR-Wert je nach Produkt von 3 bis 4 dB oder mehr besitzen. [17]

Für audiometrische Verfahren gibt die Norm DIN EN ISO 8253-1:2011 die Standardunsicherheit einer Hörschwellenmessung für ein typisches Szenario mit ca. 5 dB an. Durch die Messung der Schwellen mit und ohne Gehörschutz direkt nacheinander kann die Messunsicherheit des Gesamtergebnisses, d.h. der Schalldämmung, im Vergleich zu der einer einzelnen Hörschwelle reduziert werden. Aus der mehrfachen Bestimmung von Hörschwellen mit und

ohne Gehörschutz (ohne den Sitz des Gehörschutzes zu verändern) lassen sich Messunsicherheiten für die resultierende Schalldämmung in einem Frequenzband von 3 bis 4 dB ableiten. [18]

Für audiometrie-ähnliche Verfahren liegen wenige Erfahrungen vor. Ein Hersteller gibt für sein System eine Unsicherheit um 7 dB für den PAR-Wert an.

Beim Lautstärkevergleich und insbesondere bei der Bestimmung der Lautstärke bei unterschiedlichen Frequenzen ist von einer erhöhten individuellen Unsicherheit auszugehen. Es ist schwieriger, einen Lautstärkevergleich zwischen den beiden Ohren durchzuführen, als eine diskrete Hörschwelle zu erkennen.

Die Unsicherheit der Druckprüfung liegt verfahrensbedingt (Mehrfachmessung ohne Gehörschutz aus dem Ohr genommen) bei ca. 2 – 5 %, die Streuung beträgt bis 10 % bei wiederholtem Einsetzen und erneutem Messen. Es gibt wenige Systeme, bei denen eine Kalibrierung des Drucksensors durchgeführt wird. [19]

9.3 Vergleichbarkeit von wiederholten Messungen

Wenn die individuelle Schutzwirkung im Rahmen der Untersuchung nach G 20 überprüft wird, müssen die Ergebnisse reproduzierbar sein. Bei der Wiederholung der Untersuchung auch nach mehreren Jahren muss die Schalldämmung des verwendeten Gehörschutzes bei unverändertem Trageverhalten noch den gleichen Wert wie bei der letzten Untersuchung zeigen.

Zeigt das Ergebnis eine auffällig niedrige Schutzwirkung an, ist es erforderlich, die Messung nach erneutem Einsetzen des Gehörschutzes zu wiederholen, bis ein eindeutiges Ergebnis vorliegt.

Die notwendige Robustheit des Messsystems muss insbesondere hinsichtlich Störschallquellen und räumliche Situationen gegeben sein.

10 Vorteile und kritische Punkte der einzelnen Verfahren

Es gibt Messmethoden, die hauptsächlich für bestimmte Einsatzfälle geeignet sind, und Methoden, die von verschiedenen Nutzergruppen geeignet eingesetzt werden können. Jede Methode hat ihre Vor- und Nachteile, aus denen sich die passenden Einsatzsituationen und dabei zu erwartenden Messfehler ergeben.

10.1 f-MIRE-Technik

Vorteile

- Objektives Verfahren: keine Mitarbeit der Testperson erforderlich
- Schnelligkeit des Verfahrens (es können alle Frequenzen parallel erfasst werden).
- Die Störanfälligkeit des Systems gegenüber Störgeräuschen ist relativ gering.
- Es ist prinzipiell möglich, das Verfahren auch bei Kapselgehörsschutz anzuwenden.
- Es ist leicht möglich, tiefe Frequenzen zu messen.
- Ergebnis wird ohne weitere Berechnung unmittelbar angezeigt.
- Es bestehen keine Anwendungseinschränkungen für Personen mit Hörminderung.

- Kann sowohl vom Betriebsarzt bzw. der Betriebsärztin als auch von der Sicherheitsabteilung durchgeführt werden.

Kritische Punkte:

- Das System ist nur bei Prüfung von speziell dafür präparierten Stöpseln anwendbar. Damit ist es für einen Großteil der auf dem Markt befindlichen Gehörschutzstöpsel nicht einsetzbar.
- Vor Durchführung ist eine Einweisung mit Training erforderlich.

10.2 Audiometrie

Vorteile der kopfhörerengebundenen Audiometrie:

- Leichte Anwendbarkeit durch den betriebsärztlichen Dienst.
- Audiometer sind im betriebsärztlichen Dienst meist vorhanden.
- Die Messungen lassen sich als Ergänzung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge durchführen.
- Die Prüfmethode kann praktisch für alle Stöpsel angewendet werden.
- Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist trotz subjektiver Einschätzung der Hörschwelle relativ hoch.

Kritische Punkte der kopfhörergebundenen Audiometrie:

- Es sind geeignete Kopfhörer nötig, insbesondere sind die oft verwendeten supra-auralen (ohraufliegenden) Kopfhörer nicht einsetzbar.
- Es ist eine ruhige Umgebung nötig (ca. 40 dB(A)).
- Trotz aller Weiterentwicklungen handelt es sich doch um ein subjektives Verfahren.
- Das Verfahren erfordert einen relativ hohen Zeitaufwand.
- Zur sicheren Aussage sollten mehrere Frequenzen gemessen werden.
- Aufgrund des Datenschutzes beschränkt sich der Einsatz auf den Betriebsarzt bzw. die Betriebsärztin.

Vorteile der Freifeld-Audiometrie:

- Leichte Anwendbarkeit durch den betriebsärztlichen Dienst.
- Die Messungen lassen sich als Ergänzung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge durchführen.
- Die Prüfmethode kann für alle Stöpsel und für Kapselgehörschutz angewendet werden.
- Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist trotz subjektiver Einschätzung der Hörschwelle relativ hoch.

Kritische Punkte der Freifeld-Audiometrie

- Es ist nur eine binaurale Messung möglich. Falls doch monaural gemessen werden soll, ist ein hoher Zusatzaufwand nötig (Vertäubung des Gegenohres mit Gehörschutz oder Rauschen über Kopfhörer).
- Es sind Mindestanforderungen an den Prüfraum und das Schallfeld zu erfüllen (DIN EN ISO 8253-2:2010).
- Es ist eine extrem ruhige Umgebung nötig (ca. 25 dB(A)).
- Trotz aller Weiterentwicklungen handelt es sich doch um ein subjektives Verfahren.
- Das Verfahren erfordert einen relativ hohen Zeitaufwand.
- Zur sicheren Aussage sollten mehrere Frequenzen gemessen werden.
- Aufgrund des Datenschutzes beschränkt sich der Einsatz auf den Betriebsarzt bzw. die Betriebsärztin.

10.3 Audiometrie-ähnliche Verfahren

Vorteile für audiometrie-ähnliche Verfahren mit Kopfhörer:

- Die Prüfmethode kann praktisch für alle Stöpsel angewendet werden.
- Kann sowohl vom betriebsärztlichen Dienst als auch von der Sicherheitsabteilung durchgeführt werden.
- Wenig Probleme mit Datenschutz zu erwarten.

Kritische Punkte für audiometrie-ähnliche Verfahren mit Kopfhörer:

- Ruhige Umgebung nötig (ca. 40 dB(A))
- Subjektives Verfahren
- Zusätzliches Gerät muss angeschafft werden. Kauf- oder Mietkosten bzw. Abrechnung pro Messung
- Training/Einweisung vor Durchführung nötig.

Vorteile für audiometrie-ähnliche Verfahren im Freifeld:

- Die Prüfmethode kann für alle Stöpsel und Kapselgehörschutz angewendet werden.
- Kann sowohl vom betriebsärztlichen Dienst als auch von der Sicherheitsabteilung durchgeführt werden.
- Wenig Probleme mit Datenschutz zu erwarten.

Kritische Punkte für audiometrie-ähnliche Verfahren im Freifeld:

- Es ist nur eine binaurale Messung möglich. Falls doch monaural gemessen werden soll, ist ein hoher Zusatzaufwand nötig (Vertäubung des Gegenohres mit Gehörschutz oder Rauschen über Kopfhörer).
- Es ist eine extrem ruhige Umgebung nötig (ca. 25 dB(A)).
- Subjektives Verfahren
- Zusätzliches Gerät muss angeschafft werden. Kauf- oder Mietkosten bzw. Abrechnung pro Messung.
- Training/Einweisung vor Durchführung nötig.

10.4 Lautstärkevergleich

Vorteile:

- Geringe Störlärmanfälligkeit (Außenschallpegel bis ca. 70 dB(A)).
- Verfahren ist intuitiv gut nachvollziehbar.
- Kann sowohl vom Betriebsarzt bzw. von der Betriebsärztin als auch von der Sicherheitsabteilung durchgeführt werden.

Kritische Punkte:

- Subjektives Verfahren
- Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse kann bei manchen Systemen gering sein.
- In der Situation mit einem Ohr offen und einem Ohr mit Gehörschutz kann sich ein unterschiedlicher Höreindruck ergeben, der den Lautstärkevergleich erschwert.

10.5 Akustischer Leckagetest

Vorteile:

- Objektives Verfahren
- Geringe Störlärmanfälligkeit (Außenschallpegel bis ca. 70 dB(A)).
- Geringer Zeitaufwand
- Kann sowohl vom betriebsärztlichen Dienst als auch von der Sicherheitsabteilung durchgeführt werden.

Kritische Punkte:

- Das System ist nur bei Prüfung von speziell dafür präparierten Stöpseln anwendbar.
- Die Methode liefert keine Messgröße, die direkt mit Schalldämmwerten vergleichbar ist.

10.6 Druckprüfung insbesondere als Herstellerverfahren

Vorteile:

- Objektives Verfahren
- Schnelle Messung
- Bei einstellbaren Filtern kann die Dämmung über die Leckrate eingestellt werden. Die Hersteller verwenden dazu typischerweise eine Korrelation zwischen Leckrate und Dämmung, z. B. als SNR-Wert oder 1 kHz-Dämmwert, die nur für das jeweilige Produkt gilt.

Kritische Punkte

- Nur bei Gehörschutz-Otoplastiken anwendbar.
- Die Überdruckmethoden liefern keine Aussage zur Schalldämmung des Gehörschutzes (Otoplastik-Körper plus Filter).
- Fehleranfälligkeit: Bei verstopftem Filter (und Messung durch das Filter hindurch) oder abgeknicktem Druckschlauch kann eine dichte Otoplastik vorgetäuscht werden.

- Das Filterelement wird nicht auf seine Funktion geprüft, somit können die Schutzwirkung, Linearität oder der Dämmwert bezogen auf die Frequenz nicht ermittelt werden. Man müsste das Filterelement einzeln messen, um zu prüfen, ob es verstopft ist.
- Durch den Überdruck kann ein Schaden am Trommelfell nicht ausgeschlossen werden. Zur Absicherung sollte immer eine optische Kontrolle des Gehörgangs und des Trommelfells durchgeführt werden, im Zweifelsfall muss man an den Facharzt bzw. die Fachärztin verweisen. Zum Vergleich können Informationen zur Tympanometrie herangezogen werden (Druckbereich ± 300 mbar). Aus technischer Sicht ist bei absolut dicht sitzender Otoplastik ein Druck im Bereich von 5 – 30 mbar erreichbar und vertretbar. [20]
- Es existieren keine standardisierten Kriterien für „Dichtigkeit“.
- Der Innendurchmesser des in situ-Schlauches kann zu klein sein und durch seinen erhöhten Strömungswiderstand eine dichte Otoplastik vortäuschen. Bei einem hochdämmenden Filterelement kann derselbe Effekt auftreten.

11 Einsatzempfehlungen

Die Einsatzmöglichkeiten für die Bestimmung der individuellen Schutzwirkung sind mannigfaltig. Jede Prüfmethode eignet sich für spezielle Fragestellungen gut oder weniger gut. So erfordert eine Methode, die leicht und in geräuschvoller Umgebung einen entsprechenden Vorführeffekt erzielen kann, keine zuverlässige Bestimmung der Schalldämmung.

Geht es um die Überwachung der Gesundheit von Beschäftigten, müssen dagegen reproduzierbare und aussagefähige Messwerte geliefert werden.

Tabelle 9 enthält Empfehlungen für die Anwendung der verschiedenen Messverfahren.

Erläuterung: Es wird nur das Messprinzip betrachtet und nicht die konkrete Umsetzung.

Die Aussagekraft der Messung mit den Systemen Audiometrie, audiometrie-ähnliche Verfahren und Lautstärkevergleich hängen stark davon ab, wieviel Frequenzen gemessen und zur Bewertung herangezogen werden.

Tabelle 9: Eignung der Verfahren für verschiedene Einsatzfelder der Systeme

Methode	Schallpegelmessungen mit Mikrofon im Ohr (f-MIRE*)		Audiometrie		Audiometrie-ähnliche Verfahren		Lautstärkevergleich	Akustischer Leckagetest	Druckprüfung
	f-MIRE mit Kopfhörer	f-MIRE mit Lautsprecher	Audiometrie mit Kopfhörer	Audiometrie mit Lautsprecher	Audioverfahren mit Kopfhörer	Audioverfahren mit Lautsprecher			
Auswahl eines geeigneten Gehörschutzes	X	X	X	X	X	X		X	X
Benutzertraining	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Training für Ausbilder oder Vorgesetzte	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Arbeitsmedizinische Vorsorge	X	X	X	X	X	X		X	X
Prüfung der Eignung der Schalldämmung für den Schallpegel am Arbeitsplatz	X	X	X**	X**	X**	X**			
Funktionskontrolle von Gehörschutz-Otoplastiken	X*	X*	X	X	X	X	X	X	X
Sensibilisierung für Lärm und Gehörschutz	X	X	X	X	X	X	X	X	

f-MIRE* Verfahren mit Mikrofonen in menschlichen Ohren nach DIN EN 11904-1:2003; jeweils nur für vom Hersteller speziell präparierte Gehörschützer anwendbar

X: Geeignet

X*: Einige f-MIRE Systeme können nur für Gehörschutz-Otoplastiken genutzt werden.

X**: Nur zutreffend, wenn alle Frequenzen gemessen werden.

12 Berücksichtigung des Datenschutzes

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Anforderungen an den Datenschutz zu erfüllen.

- Datenspeicherung der Audiogramme im betriebsärztlichen Dienst. Die Verwaltung der Patientendaten obliegt dem Betriebsarzt bzw. der Betriebsärztin. Die Sicherung der zusätzlichen Informationen über die Patienten unterscheidet sich nicht von der Sicherung anderer Untersuchungsdaten. Es besteht kein Datenschutzproblem.
- Speicherung individueller Dämmwerte bei Nutzung nicht-audiometrischer Verfahren im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung entsprechend Arbeitsschutzgesetz. Danach hat der Arbeitgeber für die Beschäftigten die mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdungen zu ermitteln und zu dokumentieren.
- Ermittlung des Ist-Zustandes der Gehörschutzwirksamkeit mit Bewertung (wirksam/nicht wirksam), wobei nur dieses Ergebnis und nicht die individuellen Dämmwerte gespeichert werden, z. B. durch die Abteilung Arbeitssicherheit.

Checkliste zum Inhalt eines Datenschutzkonzepts außerhalb der arbeitsmedizinischen Vorsorge beim Betriebsarzt bzw. der Betriebsärztin [21]:

- Pseudonymisierung durch eine beauftragte Person (z. B. Betriebsarzt/ Betriebsärztin)
- Beschreibung des Pseudonymisierungsverfahrens
- Wer speichert die personenbezogenen Daten?
- Wo sind die personenbezogenen Daten gespeichert (örtlich: Sitz der Arbeitsplatzrechner und der Server)?
- Wer hat Zugriff auf die personenbezogenen Daten?
- Wie und wann kann der Personenbezug gelöscht werden?
- Welche Stelle erhebt die pseudonymisierten Daten (z. B. Sicherheitsabteilung)?
- Kontaktdaten des Ansprechpartners bzw. der Ansprechpartnerin
- beteiligte betriebliche Stellen
- Datenflussdiagramm
- Kontaktdaten der bzw. des Datenschutzbeauftragten

Anhang

Erwägungsgründe

[1] Reduzierte Praxisschalldämmung

Die Ergebnisse der IFA-Studien zu diesem Thema enthält der IFA-Report 4/2009. Darin finden sich auch Literaturverweise auf Studien in anderen Ländern.

Dantscher, S.; Sickert, P.; Liedtke, M.: Schalldämmung von Gehörschützern in der betrieblichen Praxis – Studie von 2005 bis 2007. BGIA-Report 4/2009. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Sankt Augustin 2009.
www.dguv.de/ifa, Webcode d92618

[2] Pegelbereiche am Arbeitsplatz

Durch die nur moderate Überschreitung des Auslösewertes von 85 dB(A) wird die Schädlichkeit der Lärmeinwirkung oft unterschätzt und kein Gehörschutz benutzt, deshalb ist für diesen Pegelbereich die Anzahl der entstehenden Lärmschwerhörigkeiten relativ hoch.

[3] Möglichkeiten der Berücksichtigung der individuellen Schutzwirkung

Umfassende Informationen zu diesem Thema finden sich auch in Dyrba, P.; Dantscher, S.; Fritsch, T.; Sickert, P.: Vergleich verschiedener Messsysteme zur Ermittlung der individuellen Schalldämmung von Gehörschutzstöpseln.

Lärmbekämpfung 9 (2014) Nr. 6, S. 255-265.

Der Artikel enthält ebenfalls die Ergebnisse von vergleichenden Messungen zwischen verschiedenen Messsystemen zur Bestimmung der individuellen Schalldämmung.

[4] Beratung im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge

Die DGUV Information 212-823 enthält Hinweise, wie der Betriebsarzt bzw. die Betriebsärztin die Beschäftigten zum Gehörschutz beraten kann und empfiehlt auch eine individuelle Prüfung der Schutzwirkung im Rahmen der Beratung. Darüber hinaus enthält auch der DGUV Grundsatz für arbeitsmedizinische Untersuchungen G 20 „Lärm“ Informationen zur Beratung zu den Themen Lärm und Gehörschutz. Es ist beabsichtigt, die Bestimmung der individuellen Schutzwirkung (insbesondere mittels Audiometer) bei der Überarbeitung des Grundsatzes aufzunehmen.

[5] Funktionskontrolle von Gehörschutz-Otoplastiken

Weitergehende Informationen finden sich in:

- TRLV Lärm, Teil 3, Lärmschutzmaßnahmen: siehe Abschnitt 6.2.3 (2)
- Präventionsleitlinie „Gehörschutz-Otoplastiken“
- Informationsmodul „Funktionskontrolle bei Gehörschutz-Otoplastiken“

Grundlage für die Funktionskontrolle bei Auslieferung ist die Verordnung (EU) 2016/425 zu persönlichen Schutzausrüstungen – Sonderanforderungen für „serienmäßig hergestellte PSA, bei denen jedes Einzelstück an einen individuellen Nutzer angepasst wird“

- Anhang III, Technische Unterlagen für PSA, Punkt m): Die Beschreibung einer Funktionskontrolle ist Teil der technischen Unterlagen, die für die Baumusterprüfung einzureichen sind.
- Anhang V, EU-Baumusterprüfung (Modul B), Abschnitt 4 b): Die notifizierte Stelle überprüft die Beschreibung der Funktionskontrolle auf ihre Angemessenheit.

[6] Akustischer Leckagetest

Momentan ist ein System bekannt, das nur für die Produkte dieses Herstellers verwendbar ist: Acoustic Leakage Test der Fa. Dynamic Ear Company (siehe <http://dynamic-ear.com/news/acoustic-leakage-tester>).

[7] Audiometrische Verfahren

Die angegebenen maximalen Hintergrundpegel (40 dB(A) für Audiometrie mit Kopfhörer und 25 dB(A) für Freifeldaudiometrie) ergeben sich aus den Terzspektren, die in der DIN EN ISO 8253-1:2011 (Kopfhörer) bzw. in der DIN EN ISO 8253-2:2010 (Freifeld) als höchstzulässige Störschallpegel genannt werden.

[8] Druckprüfung

Studien zu diesem Thema wurden von der BGHM durchgeführt und die Ergebnisse veröffentlicht:

Weiß, R.: Studie zu Möglichkeiten der Funktionsüberprüfung von Gehörschutz-Otoplastiken, BGHM, Oktober 2017.

Weiß, R.: Schutzwirkung von Gehörschutz-Otoplastiken – Aktueller Technik- und Wissensstand sowie Studienergebnisse zu den Einflüssen von Fertigung und Handhabung, BGHM, November 2017

[9] Oktavbandwerte

Die wesentliche Aussagefähigkeit einer audiometrischen Messung zu Leckagen ergibt sich bei 125 Hz und 250 Hz. In der Lärm I Untersuchung nach dem Grundsatz G 20 werden aber nur Frequenzen ab 1000 Hz gemessen, so dass eine Erweiterung auf 500 Hz und weiter auf 250 Hz einen erhöhten Zeit- und Arbeitsaufwand für die betriebsärztlichen Einrichtungen darstellt. Die wünschenswerte Einbeziehung von 125 Hz erscheint in diesem Zusammenhang unrealistisch.

[10] Messung bei nur einer Frequenz

Weitere Informationen zu dem speziellen Aspekt einer Einzelfrequenzmessung finden sich in Dantscher, S.; Sickert, P.: Vergleich der Beurteilungskriterien für die individuelle Schalldämmung von Gehörschutz, Lärmbekämpfung 10 (2015) Nr. 2, S. 77-82.

[11] PAR-Wert

Siehe die Erläuterungen unter [16].

[12] L-Wert

Erfahrungsgemäß bilden vier Frequenzen eine ausreichend sichere Basis für die Berechnung eines L-Wertes.

[13] Druckanstiegsmethode

Die Basis für die Wahl der genannten Kriterien sind die Ergebnisse folgender Studie:

Weiß, R.: Studie zu Möglichkeiten der Funktionsüberprüfung von Gehörschutz-Otoplastiken, BGHM, Oktober 2017.

Dabei wurde beabsichtigt, mit der Druckprüfung einen möglichst ähnlichen Prozentsatz an positiven Messergebnissen zu erreichen wie für das Kriterium „Mittelwert minus doppelte Standardabweichung“ für die akustischen Verfahren.

[14] Druckabfallmethode

Siehe [13].

[15] Definition der Messunsicherheit

Diese Definition basiert auf der DIN ISO 5725-1:1997-11 „Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Meßverfahren und Meßergebnissen - Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe“. Auch die Begriffe Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit, die in der DGUV Information nicht speziell behandelt werden, sind dort definiert.

[16] Einzahlkennwert für A-bewertete Schallpegel

Dieses Verfahren wird in der US-amerikanischen Norm ANSI/ASA S12.68-2007 beschrieben. Die sogenannte „Noise Level Reduction Statistic for Use with A-Weighting (NRS_A)“ setzt sich aus den Dämmwerten zusammen, die ein Gehörschützer für 100 verschiedene Arbeitsplatzgeräusche („NIOSH 100“) erzielt. Die Standardabweichung über diese 100 Dämmwerte wird wie die Standardabweichung der Dämmung über die Versuchspersonen als Unsicherheit betrachtet und je nach angestrebtem Vertrauensniveau vom Mittelwert der Dämmung abgezogen. Je nach Frequenzabhängigkeit der Dämmwerte kann diese Standardabweichung auch größer sein als die Standardabweichung über die Versuchspersonen.

Dieses Konzept erleichtert auf der einen Seite die Anwendung des Dämmwerts, weil nur eine Zahl nötig ist, um den Gehörschützer zu beschreiben, und nur der A-bewertete Pegel am Arbeitsplatz bekannt sein muss. Dies geht aber einher mit einer reduzierten Genauigkeit, z. B. im Vergleich zu den HML-Werten.

Weitergehende Information und die Umsetzung im Messsystem EARfit von 3 M finden sich in Berger, E.: What is a Personal Attenuation Rating (PAR) E-A-R 07-21/HP, 3 M Occupational Health & Environmental Safety Division, E•A•RCAL Laboratory, April 2010

[17] Messunsicherheit des MIRE-Verfahrens

Ausführliche Arbeiten zu diesem Aspekt liegen von Berger et al. vor. Siehe z. B.: Berger, E.H.; Voix, J.; Kieper, R.W.; Le Cocq, C.: Development and validation of a field microphone-in-real-ear approach for measuring hearing protector attenuation. Noise & Health, March-April 2011, 13:51, S. 163-175.

Darin ist das Verfahren beschrieben, mit dem die Korrekturfaktoren zwischen dem eigentlichen Messwert des Systems und einem individuellen Dämmwert, der einem REAT-Wert entspricht, bestimmt wurden.

[18] Messunsicherheit der Audiometrie

Gemeinsam vom IFA mit LGC-PS wurden Untersuchungen zur Messunsicherheit bei der Audiometrie durch Wiederholungsmessungen mittels Screening-Audiometer durchgeführt. Aus der mehrfach durchgeführten Bestimmung von Hörschwellen mit und ohne Gehörschutz (ohne den Sitz des Gehörschutzes zu verändern) lassen sich Messunsicherheiten für die resultierende Schalldämmung in jeweils einem Frequenzband von 3 bis 4 dB (Vertrauenswahrscheinlichkeit 68 %, d.h. eine Standardabweichung) ableiten.

[19] Messunsicherheit der Druckprüfung

Die Angaben für die Unsicherheit bei der Druckprüfung beruhen auf Arbeiten von Rainer Weiß (ehemals BGHM). Sie wurden im Rahmen der Erarbeitung der DGUV Information zur Verfügung gestellt.

[20] Druckbereich für Druckprüfung

Hierzu wurde die Auskunft von Betriebs- und HNO-Ärzten eingeholt.

[21] Berücksichtigung des Datenschutzes, Checkliste

Die Checkliste basiert auf den Empfehlungen der DGUV-Forschungsförderung für Forschungsnehmer.

**Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40

10117 Berlin

Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)

Fax: 030 13001-9876

E-Mail: info@dguv.de

Internet: www.dguv.de