

Handlungsanleitung für audiometrische Verfahren zur Bestimmung der individuellen Schalldämmung von Gehörschutz

Peter Kurt Sickert

Berufsgenossenschaft Holz und Metall, 90403 Nürnberg, E-mail: peter.sickert@bghm.de

Einleitung

Neben der generellen Gehörschutztragepflicht an Lärm-arbeitsplätzen entwickelt sich die Individualversorgung mit Gehörschutz für Personen mit Hörminderung, aber auch die individuelle Auswahl und Benutzung von Gehörschutz für alle Beschäftigten immer stärker. Dabei kann eine individuelle Bestimmung der Dämmwirkung als Unterstützung dienen. So kann Gehörschutz genauer an die individuelle Lärmsituation und das Hörvermögen des Benutzers angepasst werden und erreicht die volle Schutzwirkung bei minimaler Beeinträchtigung der akustischen Wahrnehmung des Benutzers.

Dementsprechend wurden in den letzten Jahren verschiedene Messsysteme auf den Markt gebracht, mit deren Hilfe die individuelle Schalldämmung von Gehörschutz ermittelt werden kann. Teilweise werden diese Geräte bereits in den Betrieben oder von Gehörschutzherstellern eingesetzt. Neben Spezialprodukten einzelner Hersteller werden schon jetzt audiometrische Messverfahren in verschiedenen Varianten angewendet, wobei die Hörschwelle mit und ohne Gehörschutz bestimmt wird. Die Differenz der beiden Schwellen wird als Maß für die Schalldämmung verwendet.

Im Folgenden werden die mögliche Integration der Gehörschutzkontrolle mittels Audiometer in die arbeitsmedizinische Gehörvorsorge, das prinzipielle Vorgehen beim Einsatz audiometrischer Messsysteme und die Handhabung der auf dem Markt verfügbaren Audiometer beschrieben. Auf die mögliche Interpretation der gewonnenen Messergebnisse sowie auf die zu erwartenden Messfehler und Möglichkeiten der Fehlerreduzierung wird eingegangen.

Bestimmung der individuellen Schalldämmung

Mit der Umsetzung der Richtlinie 2003/10/EG durch die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) wurden maximal zulässige Expositionswerte ($L'_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)}$, $L'_{pC,peak} = 137 \text{ dB(C)}$) als zulässige Grenzen der Lärmexposition unter Berücksichtigung der Wirkung des benutzten Gehörschutzes eingeführt. Dementsprechend ist der Gehörschutz so auszuwählen, dass die maximal zulässigen Expositionswerte (MZE) am Ohr des Gehörschutzbenutzers nicht überschritten werden. Diese Verordnung wird durch die Technische Regel Lärm (TRLV Lärm) spezifiziert, die ein Verfahren zur Abschätzung der Einhaltung der maximal zulässigen Expositionswerte beschreibt. Die Methode basiert weitgehend auf dem HML-Check nach DIN EN 458 unter Ausnutzung von hoch-, mittel- und tieffrequenten Geräuschen. Für die Auswahl von Gehörschutz werden die M- und L-Werte herangezogen. Das Verfahren berücksichtigt zwar

die verminderte Schalldämmung in der Praxis, tut dies jedoch nicht individuell. Es gibt Gehörschutzbenutzer, für die die so ermittelten Werte des Schallpegels am Ohr bei Gehörschutzbenutzung nicht zutreffen. Der nach Gesetz vorgeschriebene, einzuhaltende maximal zulässige Expositionswert ist eine individuelle Größe, erfordert also tatsächlich die individuelle Bestimmung des $L'_{EX,8h}$ bzw. des $L'_{pC,peak}$. Der Nachweis der Einhaltung dieser Werte ist also ebenso ein Grund zur Bestimmung der individuellen Schalldämmung wie die wegen der erschwerten Kommunikation bei der Benutzung von Gehörschutz erforderliche Anpassung der verwendeten Gehörschützer auf Personen mit Hörminderung.

Für Gehörschutz-Otoplastik-Benutzer schreibt die TRLV Lärm ebenso wie die DGUV Regel 112-194 „Benutzung von Gehörschutz“ die Funktionskontrolle bei der Auslieferung und die wiederkehrende Funktionskontrolle vor. Diese Kontrollen lassen sich ebenfalls durch eine individuelle Ermittlung der Schalldämmung durchführen.

Die unterschiedlichen Zielstellungen führen zu verschiedenen Verfahren, die inzwischen entwickelt wurden und bereits in der Anwendung sind. Es ergeben sich entsprechend der Fragestellungen:

- Vergleich der Dämmung mit der Baumusterprüfung (Reproduktion der HML-Werte oder des SNR-Wertes)
- Vergleich des Restpegels am Ohr mit dem maximal zulässigen Expositionswert $L'_{EX,8h}$ (Grenzwertprüfung)
- Dichteprüfung (Mindestdauer für die Druckabnahme, Herstellerfestlegung)

So kann z.B. die Feststellung der tatsächlichen Schalldämmung einer Gehörschutz-Otoplastik oder die Prüfung dieser Otoplastik auf eine möglicherweise im Laufe der Benutzung entstandene Leckage wegen Gehörgangveränderungen das Ziel sein. Aus den unterschiedlichen Fragestellungen folgt die Eignung der jeweiligen Prüfmethode.

Methoden:

- REAT-Verfahren („Real ear attenuation at threshold“) nach DIN ISO 4869-1: Methode der Baumusterprüfung, Standardverfahren zur Bestimmung von H, M, L und SNR
- Differenz-Schallpegelmessungen am Ohr (MIRE-Technik): objektive Methode, Prüfung auf Einhaltung des $L'_{EX,8h}$

- Hörschwellenbestimmung mit und ohne Gehörschutz: Audiometrie und audiometrieartige Verfahren, Prüfung auf Schutzwirkung und entsprechend individuelle Schalldämmung
- Lautstärkevergleichsverfahren: überschwellige Methode bis $L_A = 70$ dB, Demonstrationsmethode für Unterweisungen
- Druckprüfung (Überdruckabbau in vorgegebener Zeit): objektiv, nicht akustisch, zum Leckagetest von Otoplastiken

In der Praxis ist die individuelle Schalldämmung des Gehörschutzes die meist gefragte Größe. Eine Prüfung entsprechend Baumusterprüfung scheidet aus. Die objektive Messung des Differenzschallpegels ist gut geeignet, aber aufwändig. Messgeräte sind am Markt begrenzt verfügbar. Das Verfahren des Lautstärkevergleichs birgt erhebliche Messfehler in sich und führt immer wieder zu unglaublichen Messergebnissen. Die Druckprüfung basiert vollkommen auf den Qualitätsangaben der Hersteller (übliche Druckhaltezeit) und lässt keinen Übergang zu den Schallfeldgrößen zu.

Daher versprechen audiometrieartige Verfahren die beste Eignung für den praktischen Einsatz.

Die Audiometrie als Mittel der Wahl

Von den möglichen Messsystemen sind Audiometer in der Industrie am weitesten verbreitet. Sie bieten zusätzlich den Vorteil, dass sie in der arbeitsmedizinischen Gehörsorge nach dem DGUV Grundsatz G 20 von den Betriebsärzten standardmäßig eingesetzt werden müssen. Dem Betriebsarzt ist diese Untersuchungsmethode deshalb geläufig und eine Erweiterung der Audiometrie auf eine zweite Bestimmung der Hörschwelle mit dem am Arbeitsplatz genutzten Gehörschutz erfordert einen relativ geringen Zeit- und Verwaltungsaufwand.

Prinzipiell ist die Differenz der Hörschwelle mit und ohne Gehörschutz mit jedem Audiometer bestimmbar. Zu beachten ist jedoch, dass die Hörschwellen mit und ohne Gehörschutz nicht nur das unterschiedliche frequenzspezifische Hörvermögen widerspiegeln, sondern auch die Frequenzabhängigkeit der Schalldämmung des individuell benutzten Gehörschutzes. Ein einfacher Vergleich der Hörschwellenkurven sagt somit wenig über die Funktionsfähigkeit des verwendeten Gehörschützes aus. Im Idealfall eines Gehörschutzes mit einer über alle Frequenzen konstanten Schalldämmung wären beide Kurven direkt vergleichbar (Abbildung 1).

Es gibt Audiometer, die ein spezielles Gehörschutzprogramm enthalten. Bei diesen Geräten ist die Schalldämmung bestimmter Gehörschutztypen hinterlegt oder kann über eine spezielle Eingabemaske eingegeben werden. Eingeschränkt wird das Verfahren durch den maximal zulässigen Störpegel bei der Prüfung. Dieser wird bei allen Systemen auf etwa 35 dB(A) beschränkt. Bei höheren Pegeln kann die Hörschwelle ohne Gehörschutz nicht mehr sicher bestimmt werden.

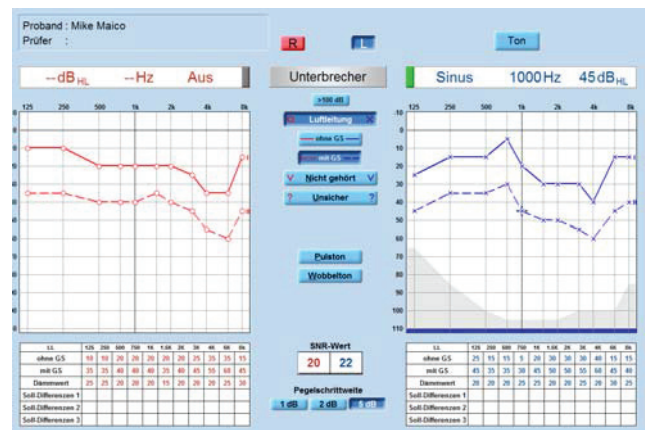


Abbildung 1: Hörschwellenkurven mit und ohne Gehörschutz für einen Gehörschutz mit annähernd konstanter Schalldämmung (Software: Maico).

Außerdem sind Überlagerungen mit Körpergeräuschen wie z.B. Pulsschlag möglich. Dem Verfahren wird momentan ein Messfehler von ca. 5 dB zugeschrieben. Am besten untersucht ist bisher das Audiometer MA 33 der Firma Maico, für das Vergleichsmessungen zur Baumusterprüfung laufen. Das Audiometer besteht aus dem Kopfhörer, einer Probandentaste und einer externen Soundkarte (Abbildung 2). Es ist möglich, das Gerät an jeden PC bzw. an jedes Notebook anzuschließen. Es kann in einer Audiometrikabine einer betriebsärztlichen Einrichtung oder einem ruhigen Raum der Abteilung Arbeitssicherheit aufgestellt werden.



Abbildung 2: Maico Audiometer MA 33 in Verbindung mit einem Notebook zur Bestimmung der individuellen Schalldämmung eines Gehörschützes.

Am PC kann zwischen einem Programm ohne Gehörschutz und einem Programm mit Gehörschutz gewählt werden. Ohne Gehörschutz handelt es sich um das übliche Verfahren der Audiometrie nach Grundsatz G 20, bei dem je nach Untersuchungsstufe (Lärm I bis III) die Hörschwelle bei den zu prüfenden Frequenzen ermittelt wird. Vor der Messung mit Gehörschutz muss der verwendete Gehörschutztyp mit seinen Oktavschalldämmwerten bekannt sein und wird

angezeigt bzw. in das System eingegeben. Das System zeigt neben der grafischen Abbildung der Hörschwellen mit und ohne Gehörschutz für beide Ohren auch andere Prüfgrößen an, deren genaue grafische Umsetzung noch erarbeitet wird. Möglich ist das Anzeigen der oktavbandspezifischen Schalldämmwerte der verwendeten Gehörschützer im Vergleich zu den Werten aus der Baumusterprüfung. Dabei wird der Gehörschutz als ungenügend eingestuft, wenn sein individueller Schalldämmwert deutlich unter dem (Mittel-) Wert der Baumusterprüfung liegt. Dieser Punkt ist dann erreicht, wenn der Mittelwert der Baumusterprüfung m_f minus der doppelten Standardabweichung unterschritten wird ($\Delta L < m_f - 2 \cdot s$), siehe Abbildung 3. Mit dieser Regelung werden 95% der Messwerte berücksichtigt. Leckagen zeigen sich am deutlichsten bei niedrigen Frequenzen, typischerweise 250-500 Hz [1][2].

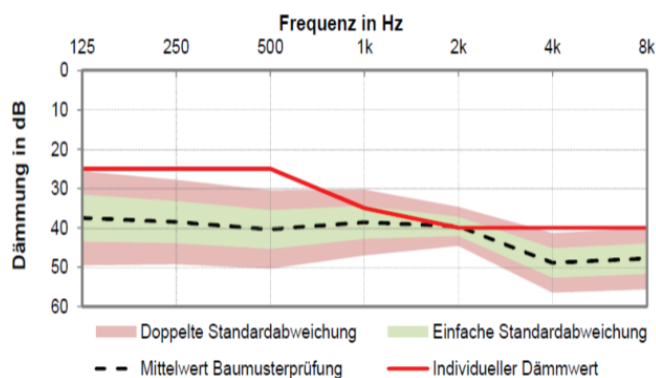


Abbildung 3: Reduzierte individuelle Schalldämmung, die bei 250 und 500 Hz unter der doppelten Standardabweichung der Baumusterprüfung für einen speziellen Gehörschutz liegt

Das Audiometer Oscilla USB-310 der Firma INMEDICO Messsysteme enthält ein ähnliches Gehörschutzprogramm und kann entsprechend verwendet werden.

Durchführung der Audiometrie

Die audiometrische Prüfung der individuellen Schalldämmung eines Gehörschützes soll innerhalb der arbeitsmedizinischen Untersuchung nach G 20 erfolgen.

Wichtige Elemente des G 20 sind:

- Untersuchungsfristen und Inhalte der ärztlichen Untersuchung
- Ärztliche Anamnese
- Tonaudiometrie in Luftleitung
- Beratung zum Gehörschutz

Wegen der Kontrolle der Schalldämmung des Gehörschützes sollte der Ablauf so organisiert werden, dass die Gehörschutzbenutzung die tatsächliche Situation am Arbeitsplatz unverfälscht wiedergibt. Deshalb sollte der betreffende Mitarbeiter direkt von seinem Arbeitsplatz zur Untersuchung gehen, ohne den Gehörschutz abzunehmen bzw. aus dem Gehörgang zu entfernen. Das Reintonaudiogramm mit Gehörschutz sollte also als erste Handlung bei der arbeitsmedizinischen Untersuchung aufgenommen werden. Dabei werden die aus der

Baumusterprüfung bekannten Prüffrequenzen ($f_{\text{OctGS}} = 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000$ Hz) gemessen (auf 125 Hz wird wegen des möglichen Störschalleinflusses verzichtet). Dann wird der Gehörschutz abgenommen. Es folgt die übliche arbeitsmedizinische Untersuchung nach dem Grundsatz G 20. Dabei ist zu beachten, dass in jedem Fall die Prüffrequenzen der ersten Prüfung mit vermessen werden. Das bedeutet 1000, 2000, 3000, 4000 und 6000 Hz in Lärm I plus 500 und 8000 Hz in Lärm II plus 250, 500 und 8000 Hz nach Baumusterprüfung.

Die Bewertung der Ergebnisse der Audiometrie kann dann auf folgender Basis erfolgen:

1. Optischer Vergleich der Hörschwellenkurven
2. Bewertung der Leckage an Hand der Grafik und Unterschreitung der doppelten Standardabweichung der Baumusterkennwerte
3. Vergleich des ermittelten L-Wertes mit dem L-Wert der Baumusterprüfung.
4. Vergleich des ermittelten PAR-Wertes (personal attenuation rating) mit dem bei der Baumusterprüfung gewonnen SNR-Wert.

Der L-Wert als Einzahlkennwert erscheint besonders geeignet, da er stark von der Schalldämmung bei den Frequenzen 250 und 500 Hz beeinflusst wird. Der PAR-Wert ist der analog zum SNR-Wert für den einzelnen Gehörschutz bestimmte Schalldämmwert. Diese Werte können auch miteinander verglichen werden und werden dann als solche am Audiometer gegenüber gestellt. Analog zur Betrachtung bei den Oktavdämmwerten kann auch für die Berechnung der L- und SNR-Werte die Größe Mittelwert minus 2 Standardabweichungen verwendet werden, um Ausreißer sicher identifizieren zu können.

Probleme der Durchführung

Die Spezifik des Verfahrens birgt eine Reihe von Problemen, die berücksichtigt werden müssen:

- Wegen der subjektiven Erkennung der Hörschwelle ist die Reproduzierbarkeit begrenzt.
- Es besteht ein Einfluss durch die Art des angebotenen Signals (Dauerton, Pulston) und eine eventuelle Vorinformation über die nächste Frequenz durch den Untersucher.
- Bei der Interpretation besteht die Gefahr der Verwendung der reinen Differenz der Hörschwellenkurven ohne Bezug zu den Zieldämmwerten.
- Leckage kann nicht eindeutig einer bestimmten Frequenz oder einer Frequenzgrenze zugeordnet werden.
- Die Überschreitung der doppelten Standardabweichung (95%-Vertrauensbereich aus der Baumusterprüfung) hin zu geringerer Dämmung als Entscheidungsmaß ist nutzbar, aber willkürlich gewählt.

Diskussion

Das audiometrische Verfahren ist das nach gegenwärtigem Wissenstand geeignetste Verfahren zur Prüfung der individuellen Schalldämmung. Das Audiometer bietet eine gute Möglichkeit, im betrieblichen Umfeld die Funktionskontrolle von Gehörschutz-Otoplastiken durchzuführen. Allerdings sind noch eine Reihe von Fragen zu klären, die insbesondere den Messfehler betreffen. Eine grundsätzliche Fehlerproblematik für die Audiometrie besteht in dem Verfahrensunterschied zwischen Audiometer und REAT-Messung. Sie ergibt sich aus dem Vergleich einer Einzelmessung mit den gemessenen Mittelwerten der Baumusterprüfung. Auch werden Sinustöne mit Rauschen und das Hören unter Kopfhörer mit dem binauralen Hören im Freifeld verglichen. Und es steht die Frage der Wiederholbarkeit der Hörschwellenbestimmung unter konstanten Bedingungen nach einem Zeitraum von bis zu drei oder sogar fünf Jahren bei der nächsten G 20 Untersuchung [3].

Spezielle Fehler bei der Audiometrie werden in einer Fehlerbetrachtung in der Norm DIN EN ISO 8253-1 [4] durchgeführt. Danach sind folgende Größen zu berücksichtigen:

1. Audiometerfehler (Abweichungen vom Soll-Betriebsverhalten)
2. Abweichungen durch Verwendung eines bestimmten Wandlers und seiner Position am Ohr (Kopfhörerposition)
3. Störschall (Hintergrundgeräusche durch Umgebungslärm)
4. Qualifikation und Erfahrung des Untersuchers
5. Unzuverlässige Schwellenantworten des Probanden

Die Summe dieser Fehler gibt ein Erwartungsumfeld, welches Spielraum für die Interpretation der Audiometrie-Ergebnisse liefert. Es ist somit erforderlich, den Fehlerbereich weiter zu untersuchen und möglichst einzuschränken.

Ausblick

Die Methode der individuellen Anpassung von Gehörschutz erscheint als die Methode der Zukunft. Dazu ist eine Bestimmung der Schalldämmung erforderlich. Das Audiometer ist für die praktische Umsetzung gut geeignet und schon in der Praxiseinführung.

Neben der vom Gesetzgeber geforderten Funktionskontrolle von Gehörschutz-Otoplastiken sollte so zukünftig eine Prüfung der Schalldämmung für alle Gehörschützer durchgeführt werden.

Der Wiederholungszeitraum könnte bei drei Jahren liegen und sich an die arbeitsmedizinische Untersuchung nach G 20 anlehnen. Für den Untersuchungsrahmen wird folgende Ergänzung zum Teil Gehörschutz vorgeschlagen: „Beratung zum Gehörschutz unter Berücksichtigung der individuellen Schalldämmung des verwendeten Gehörschützers (Beurteilung der Wirksamkeit des individuellen Gehörschutzes)“.

Danksagung

Ich möchte Sandra Dantscher (IFA) und Patrick Dyrba (BGN) für die Durchführung der Messungen und die Unterstützung und bei der Auswertung danken.

Literatur

- [1] Dyrba, P.; Dantscher, S.; Fritsch, T.; Sickert, P.: Vergleich verschiedener Messsysteme zur Ermittlung der individuellen Schalldämmung von Gehörschutzstöpseln. *Lärmbekämpfung* Bd. 9 (2014) Nr. 6, S. 255- 266
- [2] Dantscher, S.; Sickert, P.: Vergleich der Beurteilungskriterien für die individuelle Schalldämmung von Gehörschutz. *Lärmbekämpfung* Bd. 10 (2015) Nr. 3, S.78-82
- [3] Schmidt, J.-H.; Blau, M.-H.; Fedtke, T.: Audiometrie mit reinen Tönen und schmalbandigen Testsignalen: Kalibrierung und Messunsicherheiten. *Z. Audiologie* 2012; 51 (2), S. 73-81
- [4] DIN EN ISO 8253-1 Audiometrische Prüfverfahren – Teil 1: Grundlegende Verfahren der Luft- und Knochenleitungs-Schwellenaudiometrie mit reinen Tönen