

Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit der individuellen Schalldämmungsmessungen von Gehörschutz mit verschiedenen Messsystemen

Peter K. Sickert

Lärm- und Gehörschutz-Consult Peter Sickert (LGC-PS); 90451 Nürnberg, E-mail: peter.sickert@lgc-ps.de

Einleitung

Die individuelle Prüfung der Schutzwirkung wird für Gehörschutz-Otoplastiken in der TRLV „Lärm“ und in der DGUV Regel 112-194 „Benutzung von Gehörschutz“ gefordert. Darüber hinaus ist die Einhaltung des maximal zulässigen Expositionswertes von 85 dB(A) am Ohr des Gehörschutzbenutzers Bestandteil der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV). Um diese Einhaltung individuell sicherstellen zu können, ist es notwendig, auch für die anderen Gehörschutzarten individuell die Schutzwirkung zu bestimmen.

Es sind inzwischen verschiedene Systeme im Einsatz, mit deren Hilfe die individuelle Schalldämmung von Gehörschutz bestimmt werden kann. Um die Sicherung der Wirksamkeit zu deklarieren oder sogar die Einhaltung des maximal zulässigen Expositionswertes zu bestätigen, muss Klarheit über die Aussagekraft der verwendeten Messsysteme geschaffen werden. Das betrifft sowohl die in der Praxis am häufigsten verwendeten Audiometer als auch andere audiometer-ähnliche Verfahren sowie weitere spezielle Messsysteme von Gehörschutzherstellern. Da Audiometer standardmäßig in den betriebsärztlichen Einrichtungen verwendet werden, ist ihr Einsatz für die Bestimmung der individuellen Schalldämmung die praktikabelste Lösung.

Problemstellung

Mit der Umsetzung der EU-Lärmrichtlinie 2003/10/EG vom 6. Februar 2003 in deutsches Recht durch die LärmVibrationsArb-SchV wurden die Praxisabschläge auf die bei der Baumusterprüfung ermittelten Schalldämmwerte von Gehörschutz eingeführt und erstmals in der DGUV Information 212-024 im Jahre 2011 formuliert. Da es sich bei der Bewertung der Gehörschutz-Schalldämmung folglich um eine statistische Aussage handelt, wurde die Notwendigkeit der Bestimmung der individuellen Schalldämmung schnell erkennbar. Da durch unterschiedliche Gehörgang-Anatomie und durch unterschiedliches Verhalten der Gehörschutzbenutzer individuell viel höhere oder niedrigere Schalldämmwerte des verwendeten Gehörschutzes möglich sind, besteht heute kein Zweifel mehr an der Notwendigkeit einer Bestimmung der individuellen Schalldämmung des verwendeten Gehörschutzes und damit der Schutzwirkung und des Tragekomforts. Auf dem Markt ist eine Vielzahl von Systemen erhältlich oder die Systeme werden von den Herstellern für ihre eigenen Produkte angewendet. Unklar ist die Aussagekraft der einzelnen Verfahren. Aus heutiger Sicht ist die Einführung der Audiometrie als

Standardverfahren zur Prüfung der Schutzwirkung von Gehörschutz für alle Benutzer von Gehörschutzstöpseln einschließlich Gehörschutz-Otoplastiken das geeignete Verfahren, da Audiometer praktisch in jeder betriebsärztlichen Einrichtung vorhanden sind. Bei der Audiometrie als Screening-Verfahren zur Prüfung des Hörvermögens nach DGUV Grundsatz G20 wird bei Auffälligkeiten erneut untersucht (Lärm II), um Klarheit über den Befund zu erhalten. Bei einer Überprüfung des Gehörschutzes mit Audiometer muss aber nach einmalig durchgeführter Messung ein belastbares Ergebnis vorliegen. Deshalb kommt der Frage der Messgenauigkeit und der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse hier eine besondere Bedeutung zu. Ist dies geklärt, können Empfehlungen zum praktischen Einsatz formuliert werden. Hier sollen eigene Untersuchungen zu Reproduzierbarkeit von audiometrischen Messungen genauer betrachtet werden.

Vergleich der Streuung der individuellen Schalldämmungen

Frühere gemeinsame Untersuchungen von UVT, IFA und SG Gehörschutz der DGUV [1] haben bei der Ermittlung der individuellen Schalldämmung von 17 Gehörschutznutzern den Zusammenhang zwischen dem persönlichen Schalldämmwert (PAR, personal attenuation rating) und dem Schalldämmwert der Baumusterprüfung gezeigt. Dabei wurden für die einzelnen Messsysteme bezüglich der frequenzbezogenen Standardabweichungen jedoch erhebliche Unterschiede sichtbar. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die PAR-Werte der 17 Probanden, den Mittelwert für die untersuchte Gehörschutz-Otoplastik und frequenzbezogene Messwerte der Baumusterprüfung. Für das System VeriPro in Abbildung 1 lag die frequenzbezogene Standardabweichung im wichtigen Bereich von 250 Hz bis 1 kHz zwischen 7,7 und 10,0 dB. Für das audiometrische System Maico MA33 in Abbildung 2 wurde die frequenzbezogene Standardabweichung im Bereich 250 Hz bis 1 kHz zu 5,2 bis 6,0 dB gemessen.

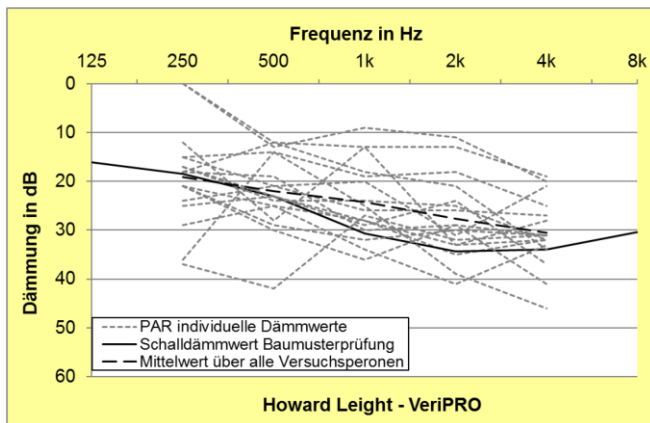


Abbildung 1: Vergleich der frequenzabhängigen Schalldämmung zwischen Baumusterprüfung und individueller Messung mit dem System VeriPro, gemessen an Phonak-Otoplastiken; Quelle [1].

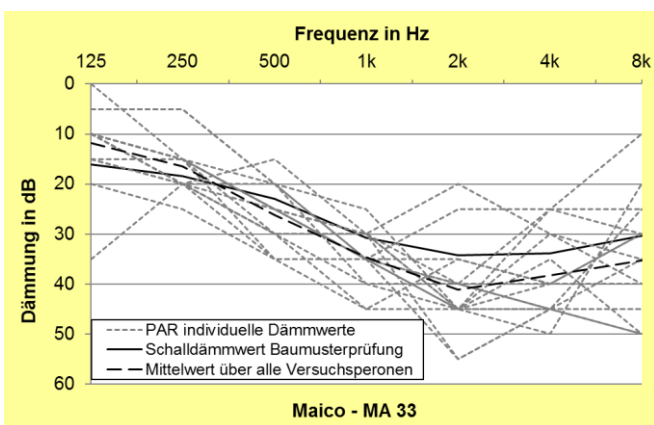


Abbildung 2: Vergleich der frequenzabhängigen Schalldämmung zwischen Baumusterprüfung und audiometrischer Messung mit dem System Maico MA 33, gemessen an Phonak-Otoplastiken; Quelle [1].

Unsicherheitsbetrachtung nach DIN EN ISO 8253-1

Die Unsicherheitsbetrachtung für zugelassene Audiometer wird in der DIN EN ISO 8253-1 „Akustik – Audiometrische Prüfverfahren – Teil 1: Grundlegende Verfahren der Luft- und Knochenleitungs-Schwelenaudiometrie mit reinen Tönen“ [2] behandelt.

Für die Ermittlung der Hörschwelle werden unter anderem folgende Einflussgrößen berücksichtigt:

- Abweichung der audiometrischen Geräte vom Sollverhalten (δ_{eq})
- Einfluss von Wandler- und Hörsitz (δ_{tr}),
- Umgebungs- bzw. Hintergrundgeräusche (δ_n)
- Verdeckungsgeräusch des Audiometers (δ_m)
- Erfahrung und Qualifikation des Untersuchers (δ_{tc})
- Mitarbeit des Probanden (δ_{su}).

Der tatsächliche Hörschwellenpegel L_{HT} ergibt sich nach Gleichung (1) aus dem ermittelten Hörschwellenpegel L'_{HT}

plus den möglichen Einflussgrößen. Alle δ -Eingangsgrößen haben einen Schätzwert von Null.

$$L_{HT} = L'_{HT} + \delta_{eq} + \delta_{tr} + \delta_n + \delta_m + \delta_{tc} + \delta_{su} \quad (1)$$

Den Hauptbeitrag zur Messunsicherheit liefern Abweichungen des Audiometersignalpegels. So liefert die Norm in einem Beispiel bei Berücksichtigung der Geräteabweichung, dem Einfluss von Wandler und Hörsitz und dem Umgebungsgeräusch eine kombinierte Standard- Unsicherheit bei 4 kHz von $u = 4,9$ dB. Im Falle der Differenzmessung der Hörschwellen mit und ohne Gehörschutz sollten Teile der Streuungen bei der Messung zu vernachlässigen sein. Es wird ein kurzzeitig konstante Ausgangswerte lieferndes Audiometer, ein gleichbleibendes Hintergrundgeräusch, ein erfahrender Audiometrist (bzw. ein automatisch arbeitendes Audiometer) und ein am Ergebnis interessierter Proband vorausgesetzt. Da jetzt die Möglichkeiten der Variablen im Versuch eingeschränkt sind, ergibt sich folgende Gleichung (2) für den individuellen Schalldämmwert PAR

$$PAR = (L'_{HT1} - L'_{HT2}) + (\delta_{cq1} - \delta_{cq2}) + (\delta_{tr1} - \delta_{tr2}) + (\delta_{n1} - \delta_{n2}). \quad (2)$$

Der PAR-Wert lässt sich somit aus der Differenz der Hörschwellen und der Abweichung, die sich durch die kurzzeitige Schwankung der Signalwiedergabe und der Hörerposition ergibt, abschätzen, siehe Gleichung (3).

$$PAR = L'_{HT1} - L'_{HT2} \pm 2 u (\delta_r) \quad (3)$$

Dabei ist $u (\delta_r)$ die Unsicherheit, die sich durch den unterschiedlichen Hörsitz ergibt.

Da man nach DIN EN ISO 8253-1 für die zugelassenen Audiometer von einer Standardunsicherheit für die Hörerposition von 2,9 dB ausgehen kann, sollte die Genauigkeit der audiometrischen Messungen zu den Ergebnissen der Betriebslärmmessung passen, die ebenfalls eine typische Messunsicherheit von 3 dB aufweist.

Die Firma Cotral gibt für ihr Messsystem CAPA selbst eine Unsicherheit von 7 dB [3] an.

Wiederholbarkeit audiometrischer Messungen

Um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse für Audiometer praktisch zu prüfen, wurden eine Reihe von Versuchen unternommen. Dabei wurde mittels automatischen Audiometers im Audiomobil eines Unfallversicherungsträgers gemessen. Die Pegelschrittweite bei den Messungen betrug immer 5 dB, wie sie für Screening-Audiometer bei der arbeitsmedizinischen Vorsorge typisch ist.

Die wiederholte Hörschwellenbestimmung bei jeweiligem neuen Aufsetzen des Hörers zeigt gut reproduzierbare Werte (Abb. 3). Die Standardabweichung der einzelnen Frequenzen liegt hier zwischen 0 und 3,7 dB.

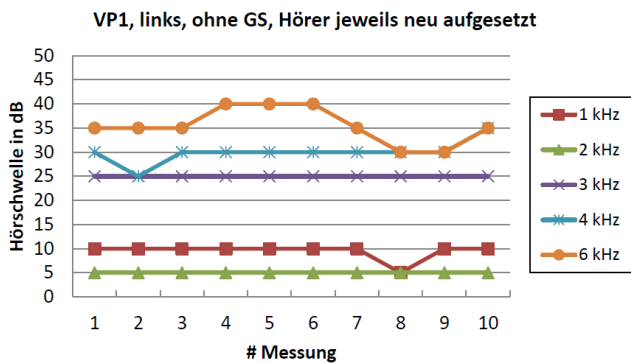


Abbildung 3: Wiederholte Hörschwellenbestimmung mit dem System Maico MA 33 mit jeweils neuer Hörerposition

Ein weiteres Beispiel zeigt das Ergebnis von sechs Messungen an einer Versuchsperson bei zweimaligem Aufsetzen des Hörers (Abb. 4). Hier schwankt der Pegel oft gar nicht (SD = 0) und die Standardabweichung erreicht maximal einen Wert von 3,2 dB bei 4 kHz. Ein systematischer Zusammenhang zwischen gemessener Audiometrie-Frequenz und Streuung der Messwerte war nicht zu erkennen.

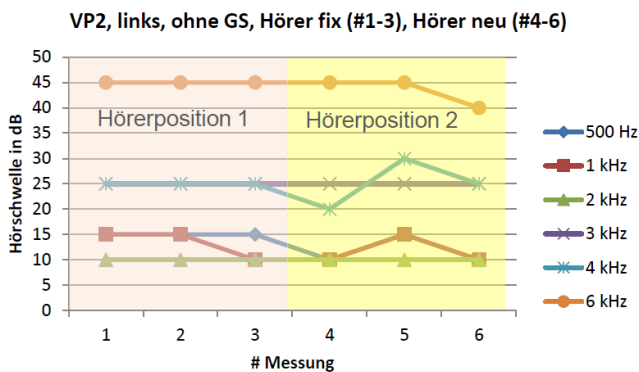


Abbildung 4: Wiederholte Hörschwellenbestimmung mit dem System Maico MA 33 bei einmaliger Neupositionierung des Hörers

Hörschwellenbestimmungen mit Gehörschutz

Die Hörschwellen wurden an drei Versuchspersonen beim Benutzen von drei Gehörschutz-Otoplastiken und einem Modell eines „vor Gebrauch zu formenden Gehörschutzstöpsels“ (Bilsom 303) ermittelt. Die Messung an der Gehörschutz-Otoplastik „EARmo“ und dem Gehörschutz-Stöpsel (Abbildung 5) zeigt deutlich den Einfluss der Schalldämmung des verwendeten Gehörschutzes auf das Gesamtergebnis. Dabei ist die Streuung selbst gering.

Aus der Baumusterprüfung ergeben sich die Dämmwerte für EARmo mit H = 27 dB, M = 18 dB und L = 11 dB. Für Bilsom 303 liegen die Werte bei H = 32 dB, M = 29 dB und L = 29 dB.

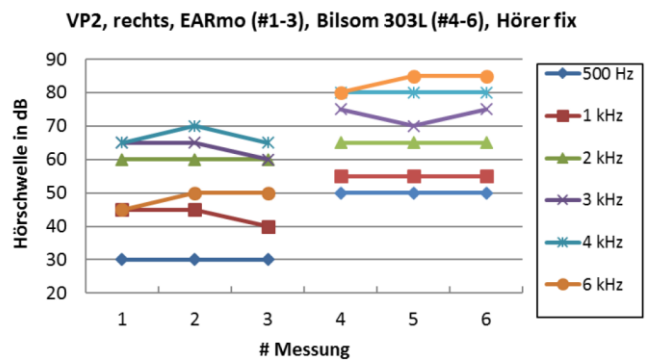


Abbildung 5: Audiometrische Bestimmung der Hörschwelle mittels Maico MA 33 bei Benutzung von Gehörschutz-Otoplastiken „EARmo“ und Gehörschutzstöpseln „Bilsom 303“.

Hörschwellen bei der Audiometrie im Vergleich zur Baumusterprüfung

Nachdem das Ergebnis darauf hindeutet, dass die Hörschwellen mittels Audiometer reproduzierbar bestimmt werden können, kann aus der Differenz der Hörschwellen mit und ohne Gehörschutz ein individueller Dämmwert ermittelt werden, der mit den bei der Baumusterprüfung bestimmten Schalldämmwert verglichen werden kann.

Abbildung 6 zeigt die frequenzabhängigen Mittelwerte der Baumusterprüfung mit 16 Versuchspersonen für Bilsom 303 zusammen mit dem Mittelwert aus drei individuellen Messungen.

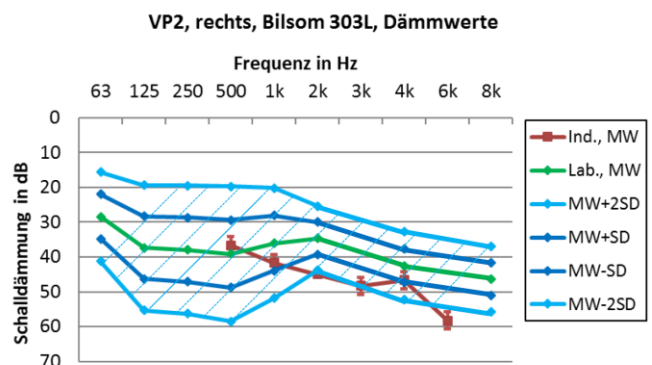


Abbildung 6: Frequenzabhängige Mittelwerte der Baumusterprüfung (Lab., MW), deren einfache und doppelte Standardabweichung (MW ± 1 oder 2 SD) und die Mittelwerte der individuellen Schalldämmung (Ind., MW)

Die mit dem Audiometer bestimmte Dämmkurve zeigt individuelle Dämmwerte, die deutlich oberhalb der bei der Baumusterprüfung bestimmten Mittelwerte liegen. Als Maß für eine signifikante Über- bzw. Unterschreitung wird die doppelte Standardabweichung verwendet.

Ergebnis und Ausblick

Wie die Ergebnisse zeigen, ist die Messung der individuellen Schalldämmung in der Praxis möglich. Audiometer sind aus praktischen Gründen die Methode der Wahl.

Die Reproduzierbarkeit der Hörschwellen mit und ohne Gehörschutz sind bei Messung mit dem Audiometer mit der DIN EN ISO 8253-1 vereinbar.

Als Standardabweichung der Schalldämmung für die wiederholte Messung bei unverändertem Gehörschutzsitz können Werte von 2 bis 3 dB erreicht werden.

Zur genaueren Bestimmung des Messfehlers bei der Bestimmung der Schalldämmung aus Differenzwerten der Hörschwelle sind weitere Messungen mit größeren Probandenzahlen und mehr Wiederholungen der Messungen notwendig. Dabei sollten unterschiedliche Audiometer verwendet werden.

Unabhängig davon ist die schon begonnene Einführung der audiometrischen Kontrolle der individuellen Schutzwirkung von Gehörschutz-Stöpseln und Gehörschutz-Otoplastiken zu begrüßen. Es gibt Audiometer, die mit einem speziellen „Gehörschutz-Baustein“ ausgestattet und dadurch leichter für die Bestimmung der individuellen Schalldämmung nutzbar sind [4]. Die Integration in die arbeitsmedizinische Vorsorge auf der Basis des DGUV Grundsatzes G 20 ist eine dafür gut geeignete Plattform. Dabei besteht Einigkeit darin, dass den tiefen Frequenzen die entscheidende Bedeutung bei der Beurteilung einer eventuellen Leckage des Gehörschützers zukommt. Es wird empfohlen, mindesten zwei der folgenden Frequenzen zu prüfen: 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz. Wie umfangreich die Messung gestaltet wird, hängt vom Untersucher ab. Generell ist ein zweiter Durchlauf der Audiometrie unter Berücksichtigung von optimal 250 Hz oder mindestens 500 Hz zu empfehlen.

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] DIN EN ISO 8253-1 „Akustik – Audiometrische Prüfverfahren – Teil 1: Grundlegende Verfahren der Luft- und Knochenleitungs-Schwellenaudiometrie mit reinen Tönen, (ISO 8253-1:2010); Deutsche Fassung EN ISO 8253-1:2010; DIN EN ISO 8253-1: April 2011
- [3] Testing of commercially available systems for hearing protector based on individual fit testing, Nicolas Trompette, Alain Kusy, *Internoise 2013*, Innsbruck

- [4] Sickert, P.: Handlungsanleitung für audiometrische Verfahren zur Bestimmung der individuellen Schalldämmung von Gehörschutz; DAGA 2015. 41. Jahrestagung für Akustik "Fortschritte der Akustik". 16.-19. März 2015, Nürnberg - Vortrag. CD-ROM, S. 1354-1357, Hrsg.: Becker, S. Deutsche Gesellschaft für Akustik, Berlin 2015