

Vergleich der Beurteilungskriterien für die individuelle Schalldämmung von Gehörschutz

Sandra Dantscher, Sankt Augustin, Peter Sickert, Nürnberg

Zusammenfassung Es gibt eine Anzahl von Gründen, die Schalldämmung von Gehörschutz individuell zu bestimmen. Die auf dem Markt befindlichen Messsysteme eignen sich für die einzelnen Fragestellungen unterschiedlich gut. Bevor man dazu allgemein gültige Aussagen treffen kann, sollen hier die von den Systemen genutzten Bewertungskriterien und -verfahren bezüglich ihrer Nutzbarkeit verglichen werden. Sowohl der grafische Vergleich mit den Werten der Baumusterprüfung über den gesamten gemessenen Frequenzbereich als auch der L-Wert als Einzelkennwert zeigen sich als geeignete Verfahren.

Comparison of assessment criteria for the individual sound attenuation of hearing protectors

Summary There are a number of reasons for measuring individual values of sound attenuation of hearing protectors. Depending on the particular aim of the measurement different systems available on the market are suitable. Before defining special fields of application for the systems it is necessary to compare the different quantities and criteria used for assessing the individual attenuation data. A graphical comparison with the results of the type examination measured in the lab over the complete measured frequency range and the use of the L value as a single number quantity are identified as suitable approaches.

In einem früheren Artikel in dieser Zeitschrift [1] wurden Vergleichsmessungen mit verschiedenen Systemen zur individuellen Schalldämmungsbestimmung vorgestellt. Darauf und auf weiteren Arbeiten aufbauend sollen hier mögliche Messwerte und Beurteilungsgrößen für die Ermittlung der individuellen Schalldämmung von Gehörschutz diskutiert werden. Zielgruppe sind dabei sowohl Arbeitsmediziner, Betriebs- und Werksärzte sowie Sicherheitsfachkräfte in den Betrieben als auch Gehörschutzhersteller. Dabei sollen keine festen Vorgaben gemacht, sondern Denkansätze und mögliche Lösungen vorgestellt werden.

Zur Verfügung stehende Messsysteme

Der Bezugswert („Goldstandard“) für die Schalldämmung von Gehörschutz ist das sog. REAT-Verfahren („Real ear attenuation at threshold“) nach DIN ISO 4869-1 [2], 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 Oktavbandmittenfrequenzen von 63 bis 8 000 Hz. Die Hörschwelle wird meist über ein Eingabelungsverfahren (z. B. nach *Bekesy*) ermittelt.

Die Norm DIN ISO 4869-1 liefert Aussagen über die Stichprobe von 16 Versuchspersonen (Mittelwert, Standardabweichung) und erfordert entsprechend den Vorgaben einen Raum mit sehr niedrigen Störgeräuschpegeln und einem diffusen Schallfeld.

Für die individuelle Ermittlung der Schalldämmung sind seit einigen Jahren diverse Systeme im Einsatz, die zum größten Teil von Gehörschutzherstellern entwickelt wurden. Viele davon lassen sich für verschiedene Produkte verwenden und können auch von entsprechend geschulten Personen in den Betrieben bedient werden. Die Systeme lassen sich nach ihrer Funktionsweise in folgende Untergruppen aufteilen.

Objektive Schallpegelmessungen am Ohr (MIRE)

Beim MIRE-Verfahren („Microphone in real ear“) wird mithilfe von zwei Mikrofonen die Differenz zwischen dem Pegel im Ohr unter dem Gehörschutz und außerhalb des Ohrs direkt an der Concha ermittelt. Dabei 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 Gehörschutzstöpsel. Dies muss bei der Angabe der ermittelten Dämmwerte berücksichtigt werden. Das grundlegende Verfahren der Messung im Ohrkanal ist in der Norm DIN EN ISO 11904-1 [3] beschrieben. Als Schallquelle können Lautsprecher oder Kopfhörer verwendet werden.

Hörschwellenbestimmungen mit und ohne Gehörschutz (audiometrieartige Verfahren)

Ein vom Prinzip her der REAT-Methode ähnliches Verfahren lässt sich mithilfe eines Audiometers realisieren. Auch hier wird die Hörschwelle der Versuchsperson mit und ohne Gehörschutz ermittelt. Der Unterschied zu REAT besteht in der Schallquelle (meist Kopfhörer, teilweise auch Lautsprecher für Freifeldaudiometrie) und den Prüfsignalen (Sinustöne). Die Hörschwelle kann dabei entweder mit monoton ansteigenden Pegeln oder mittels eines Eingabelungsverfahrens bestimmt werden. Bei letzterem werden die Pegel mehrmals abwechselnd erhöht und reduziert und der Hörschwellenpegel nach oben und unten eingegrenzt.

Lautstärkevergleichsverfahren

Ein weiteres subjektives Messverfahren basiert auf dem Lautstärkevergleich. Dabei wird nicht an der Hörschwelle gemessen, sondern bei deutlich höheren Pegeln im Bereich um 60 dB(A). Die Lautstärke der über Kopfhörer angebotenen Sinustöne ist vom Probanden jeweils so einzustellen, dass er die Töne auf beiden Ohren gleich laut empfindet. 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.

Prüfung der Druckabnahme

Als weitere Möglichkeit speziell für Gehörschutz-Otoplastiken existiert die sog. Druckprüfung. Dabei wird zwischen eingesetz-

tem Gehörschutzstöpsel und Trommelfell ein leichter Überdruck von einigen mbar aufgebaut und dessen Entwicklung in der Zeit beobachtet. Wenn der Ohrkanal dicht verschlossen ist, bleibt der Druck konstant oder zumindest über einige Sekunden bestehen.

Da dieses Verfahren nicht mit akustischen Größen arbeitet, liefert es keine Dämmwerte. Aber es erlaubt für Gehörschutz-Otoplastiken die Aussage, ob der individuelle Gehörschutz korrekt an den Ohrkanal angepasst ist. Falls die Otoplastik mit einem Filterelement ausgestattet ist, bestimmt dieses Filter die resultierende Dämmung.

Die Druckprüfung wird hier nicht weiter betrachtet, da der Schwerpunkt auf den akustischen Prüfverfahren liegen soll.

Unterschiedliche Zielsetzung der individuellen Bestimmung der Schalldämmung

Wie schon in [1] ausführlich beschrieben, gibt es verschiedene Gründe dafür, die Schalldämmung von Gehörschutz individuell zu ermitteln.

Einhaltung des maximal zulässigen Expositionswerts (MZE)

Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [4] fordert für jeden Beschäftigten die Einhaltung des maximal zulässigen Expositionswerts am Ohr unter Berücksichtigung der dämmenden Wirkung des Gehörschützers. Bisher erfolgt diese Beurteilung über ein statistisches Verfahren mit den sog. Praxisabschlägen. Das sind Korrekturwerte der Schalldämmung, die die unterschiedliche Trageweise des Gehörschützers bei der Baumusterprüfung und beim Einsatz im Betrieb widerspiegeln. Dieses Verfahren ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet und kann zur Folge haben, dass Personen, die Gehörschutzstöpsel korrekt benutzen, Gehörschutz mit zu hoher Schalldämmung verwenden.

Falls sich jedoch die individuelle Schalldämmung mit den entsprechenden Verfahren genau erfassen lässt, kann die Einhaltung des MZE tatsächlich für jeden einzelnen Beschäftigten überprüft und ein Gehörschutz mit der optimalen Dämmung ausgewählt werden.

Wiederkehrende Funktionskontrolle für Gehörschutz-Otoplastiken

Nach den Technischen Regeln zur LärmVibrationsArbSchV (TRLV Lärm [5]) müssen Gehörschutz-Otoplastiken bei der Auslieferung und danach regelmäßig wiederkehrend alle zwei Jahre überprüft werden. Die Funktionskontrolle bei der Auslieferung liegt in der Verantwortung des Herstellers, während die wiederkehrenden Kontrollen durch den Unternehmer zu veranlassen sind. Für diese Prüfungen lassen sich die verschiedenen, oben beschriebenen Messsysteme einsetzen.

Arbeitsmedizinische Vorsorge der Lärmexponierten

Die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem DGUV Grundsatz G 20 „Lärm“ [6] beinhaltet auch eine Beratung zum Gehörschutz (siehe auch DGUV Information 212-823 „Ärztliche Beratung zum Gehörschutz“ [7]). Der Gehörschutz soll zum Vorsorgetermin mitgebracht werden. Neben einer Sichtkontrolle und Befragungen zu Tragegewohnheiten und -erfahrungen kann auch hier eine Messung Aufschluss über die Schutzwirkung geben. Bei Otoplastiken kann auch die wiederkehrende Funktionskontrolle im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge durchgeführt werden.

Die Hörschwellenbestimmungen nach G 20 werden unter Verwendung eines Audiometers durchgeführt.

Passende individuelle Versorgung mit Gehörschutz

Gerade bei Gehörschutzstöpseln hängt es stark von den individuellen Eigenschaften der Person bezüglich Form und Größe des Ohrkanals ab, wie gut sich der Gehörschutz einsetzen und tragen lässt. Nicht jeder Stöpsel ist für alle Träger geeignet. Da es aber nicht immer möglich ist, den korrekten Sitz durch eine Sichtkontrolle festzustellen, kann auch hier die Messung der individuellen Schalldämmung Unterstützung leisten. Wird eine zu geringe Schalldämmung ermittelt, sollte als erstes der Sitz überprüft und optimiert werden. Im nächsten Schritt sollte ein anderes Produkt, z. B. mit unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit oder Ausdehnzeit des Schaumstoffs, verwendet werden. Die direkte Rückkopplung durch das Messergebnis trägt auch dazu bei, den Gehörschutzbenutzer zum sorgfältigen Einsetzen der Stöpsel zu motivieren. Auch werden immer häufiger erhöhte Anforderungen an die Kommunikationsfähigkeit bei Benutzung von Gehörschutz gestellt. Hier ist eine individuelle Anpassung notwendig, um eine Überprotektion in jedem Fall zu vermeiden.

Gesicherte Schutzwirkung für Personen mit Hörminderung

Die TRLV Lärm nennen Personen mit Hörminderung als besonders gefährdete Personengruppe. Hier besteht eine Gehörschutztragepflicht bereits ab einem Tages-Lärmexpositionspegel von 80 dB(A). Diese Personen müssen also zum einen mit einem zuverlässig dämmenden Gehörschutz versorgt werden, um eine weitere Hörverschlechterung zu vermeiden. Zum anderen darf der Restpegel am Ohr aber auch nicht zu niedrig sein, da sonst die schon eingeschränkte Kommunikationsfähigkeit noch weiter verschlechtert wird. Außerdem ist eine möglichst frequenzunabhängige Dämmung anzustreben. Um für diese Personen die bestmögliche Versorgung zu finden, empfiehlt sich auch hier eine individuelle Bestimmung der Schalldämmung.

Kriterien für die Bewertung der Eignung der unterschiedlichen Prüfmethode

Die oben beschriebenen Verfahren beruhen auf verschiedenen Messprinzipien. Insbesondere sind objektive (Messung von Schalldruckpegeln oder statischen Überdrücken) und subjektive Methoden (Mitwirkung der Versuchsperson) zu trennen. Darüber hinaus unterscheiden sich auch die Gehörschutztypen, die sich mit den Verfahren untersuchen lassen, sowie der Zeitaufwand für eine Messung.

Verlässlichkeit (Genauigkeit)

Wie schon erwähnt, wird das REAT-Verfahren als Gold-Standard für die Schalldämmung von Gehörschutz betrachtet. Die Messsysteme für die individuelle Schalldämmung müssen sich daher daran messen lassen. Zu den meisten Messverfahren gibt es Studien oder Publikationen, die den Aspekt der Genauigkeit behandeln. Eine umfassende Arbeit, die für alle Methoden vergleichend verlässliche und praxistaugliche Angaben für die individuelle Unsicherheit angibt, ist bisher nicht bekannt. Daher sollen hier erst einmal nur einige Beispiele vorgestellt werden.

Für MIRE-Verfahren ist die Messunsicherheit der Schallpegelmessung im Ohrkanal und außen am Ohr relativ klein, allerdings entspricht, wie bereits erwähnt, die Differenz dieser beiden Pegel nicht exakt dem „Insertion loss“ aus REAT-Messungen. Es besteht aber die Möglichkeit, die 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 MIRE-Endergebnisse überträgt. So gibt das 3M E-A-Rfit System z.B. als Unsicherheit für den ermittelten PAR-Wert (siehe unten) je nach Produkt 5 bis 7 dB an [8].

Erfolgt keine Kalibrierung der MIRE-Werte, kann die Dämmung eines Stöpsels anhand intern festgelegter Grenzwerte erfolgen. Damit ist aber für Außenstehende die Beurteilung der Ergebnisse nur schwer möglich.

Für audiometrische Verfahren gibt die DIN EN ISO 8253-1 [9] die Standardunsicherheit einer Hörschwellenmessung für ein typisches Szenario mit ca. 5 dB an. Durch die Messung der Schwellen mit und ohne Gehörschutz direkt nacheinander sollten einige Beiträge zum Unsicherheitsbudget vernachlässigbar sein. Dazu gibt es aber noch keine belastbaren Daten.

Im Hinblick auf den Vergleich der audiometrischen Ergebnisse mit REAT-Werten gibt es eine Vielzahl von Studien mit zum Teil stark unterschiedlichen Ergebnissen. Es finden sich Abweichungen von der REAT-Methode sowohl zu höheren Dämmwerten [10] als auch zu niedrigeren ([11] und laufendes Projekt im IFA). Andere Arbeiten ergaben hingegen sehr gute Übereinstimmungen der beiden Messmethoden [12].

Für das audiometrieartige Verfahren CAPA von Cotral gibt der Hersteller eine Unsicherheit von 7 dB für den PAR-Wert an [11].

Eine offene Frage ist, ob das Restvolumen unter dem Kopfhörer einen Einfluss auf die ermittelte Schalldämmung bei tiefen Frequenzen hat. Wahrscheinlich kann nicht von vorneherein davon ausgegangen werden, dass die Audiometrie mit Kopfhörern und die REAT-Methode im diffusen Schallfeld identische Ergebnisse liefern.

Für die Messungen mit Lautstärkevergleich zeigen Studien ähnlich zu unseren eigenen Ergebnissen [1], dass die Streuung über die Versuchspersonen sehr groß ist und die REAT-Ergebnisse der Baumusterprüfung auch mit trainierten Versuchspersonen nicht reproduzierbar sind [11; 13]. Der Hersteller selbst (Howard Leight by Honeywell) gibt für alle Frequenzen außer 250 Hz eine Abweichung von den REAT-Werten von 3 dB an. Die Standardabweichung über ein Probandenkollektiv soll um 2 dB größer sein als für die Baumusterprüfung.

Es ist davon auszugehen, dass ein Lautstärkevergleich nicht mit derselben Präzision wiederholbar ist wie die Ermittlung einer Hörschwelle.

Reproduzierbarkeit

Wird die individuelle Schalldämmung jeweils im Rahmen der Untersuchung nach G 20 überprüft (vgl. Empfehlung in [7]), müssen die Ergebnisse reproduzierbar sein. Das bedeutet, dass bei Wiederholung der Untersuchung typischerweise nach mehreren Jahren der Wert der Schalldämmung des verwendeten Gehörschutzes bei unverändertem Trageverhalten immer noch gleich dem Wert bei der letzten Untersuchung sein sollte. Das setzt eine Robustheit des Messsystems voraus, die sich insbesondere auf Störschallquellen und veränderte räumliche Situationen bezieht.

Umfang der Einsetzbarkeit für verschiedene Gehörschutz-Typen

Allen MIRE-Verfahren gemeinsam ist, dass der Schalldruckpegel im oder am Ende des Gehörschutzstöpsels gemessen werden muss. Dazu muss ein Mikrofon im Inneren des Stöpsels platziert werden. Dies kann durch einen geeigneten Adapter er-

reicht werden, der z. B. anstatt eines Filterelements in eine Gehörschutz-Otoplastik eingesetzt wird. Für Schaumstoff- oder Lamellenstöpsel muss ein Sondenschlauch durch den Stöpsel geführt werden, sodass nur präparierte Produkte verwendet werden können. Dies schränkt den Einsatz von MIRE-Verfahren im Wesentlichen auf herstellereigene Produkte ein.

Die subjektiven Verfahren (Audiometer und Lautstärkevergleich) können dagegen im Prinzip mit allen Stöpseln durchgeführt werden. Bei Anwendungen mit Kopfhörern (bei den meisten Systemen) muss nur darauf geachtet werden, dass im Kopfhörer genug Raum ist, sodass der Stöpsel nicht berührt wird. Der Druck durch den Kopfhörer kann den Sitz des Gehörschützers verändern, was zu niedrigerer aber auch höherer Dämmung führen kann.

Zeitaufwand

Bei objektiven Verfahren ist es möglich, den Schalldruckpegel breitbandig über den gesamten Frequenzbereich (typischerweise 125 bis 8 000 Hz) in Terzen aufgelöst zu messen. Die eigentliche Messzeit beträgt damit etwa 30 s pro Ohr.

Für die subjektiven Methoden muss jedes Frequenzband einzeln gemessen werden. Je nach angestrebter Zielgröße (siehe unten) sind dafür Messungen bei ein bis sieben Frequenzbändern nötig. Da für jede Frequenz die Hörschwelle mit und ohne Gehörschutz ermittelt werden muss, ergibt sich für eine Komplettmessung über alle Frequenzen eine Dauer von etwa 15 bis 20 min, je nach Erfahrungsstand von Versuchsleiter und Proband.

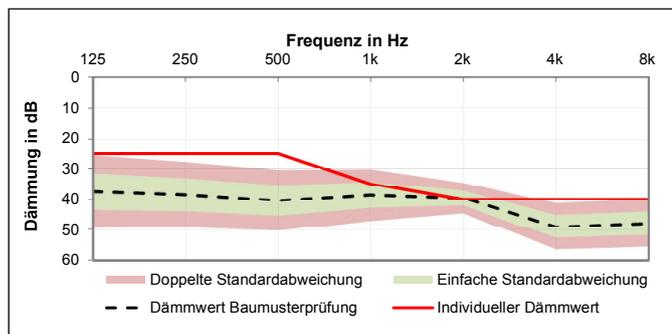
Geeignete Messgrößen und Bewertungskriterien

Unabhängig davon, welches System zur Bestimmung der individuellen Schalldämmung verwendet wird, soll der ermittelte Dämmwert mit einem Zielwert (typischerweise die Werte der Baumusterprüfung für dieses Produkt oder z. B. ein spezifischer Dämmwert zur Einhaltung des MZE) verglichen werden. Je nach verwendetem System, gemessenen Werten und Erfahrung des Beurteilers kommen verschiedene Messgrößen und Bewertungskriterien infrage.

PAR-Wert (allgemeiner Einzahlkennwert analog zum SNR-Wert)

Die meisten Messsysteme, die mehrere Frequenzen messen, geben als Ergebnis auch einen Einzahlkennwert PAR (Personal attenuation rating) an, der auf dem SNR-Wert nach DIN EN ISO 4869-2 [14] basiert. Der SNR-Wert erlaubt die Berechnung des A-bewerteten Restpegels am Ohr unter dem Gehörschutz, wenn der C-bewertete Pegel am Arbeitsplatz bekannt ist. Durch die C-Bewertung wird der Frequenzinhalt des Geräuschs berücksichtigt. Für die Daten aus der Baumusterprüfung wird der SNR-Wert als Wirkung des Gehörschützers auf ein Rosa Rauschen aus den APV-Werten (Mittelwert minus Standardabweichung) in den einzelnen Frequenzbändern berechnet. Damit hat der Wert eine Vertrauenswahrscheinlichkeit von 84 %, d. h. 84 % aller Gehörschutzbenutzer erreichen mindestens diesen Dämmwert. Für eine Messung der individuellen Schalldämmung liegt natürlich nur ein Datensatz vor, der statt der APV-Werte in die Berechnungsformel eingesetzt wird.

Liegen nicht für alle Frequenzen von 125 bis 8 000 Hz individuelle Dämmwerte vor, kann sowohl der PAR-Wert als auch die Vergleichsgröße SNR-Wert für den eingeschränkten Frequenzbereich berechnet werden.



Grafische Darstellung von individuellen Dämmwerten und den zugehörigen Baumusterprüfwerten (Mittelwert, einfache und doppelte Standardabweichung).

Vertrauensniveau (einfache oder doppelte Standardabweichung)

Alle aus den Baumusterprüfwerten berechneten Größen werden mit einer einseitigen Vertrauenswahrscheinlichkeit von 84 % angegeben. Dies entspricht für den APV-Wert in einem Frequenzband der Größe Mittelwert minus einfache Standardabweichung. Soll nun ein individueller Datensatz mit den Ergebnissen der Baumusterprüfung verglichen werden, sollten auch andere Werte betrachtet werden. So kann es auch sinnvoll sein, zu hohe Schalldämmwerte abzulehnen (Vermeidung von Überprotektion), sodass die Zielwerte im Bereich von Mittelwert \pm Standardabweichung liegen. Dies schließt 68 % aller Messwerte ein. Dabei können aber noch jeweils 16 % der Werte ober- bzw. unterhalb liegen, ohne dass sie den Ergebnissen der Baumusterprüfung widersprechen. Daher kann der Vertrauensbereich auf Mittelwert \pm 2-Standardabweichung erweitert werden, was 95 % der Messwerte entspricht. Das **Bild** erläutert die Zusammenhänge an einem grafischen Beispiel.

Dieselbe Argumentation lässt sich auch auf die Einzahlkennwerte wie PAR- und L-Wert anwenden, sodass auch hier ein Wertebereich definiert werden kann.

L-Wert

Da der PAR-Wert wie der SNR-Wert ein Rosa Rauschen als Bezugsspektrum verwendet, berücksichtigt er die Dämmwerte in den einzelnen Frequenzbändern relativ gleichmäßig. Daher sind Abweichungen in den tiefen Frequenzen, wo sich Leckagen besonders zeigen, im PAR-Wert oft nicht deutlich sichtbar. Wenn also das Ziel der Messung die Überprüfung des korrekten Sitzes von Stöpseln oder Gehörschutz-Otoplastiken ist, sollte das Augenmerk auf dem tieffrequenten Bereich liegen. Dafür eignet sich der L-Wert, der definitionsgemäß die Dämmwirkung des Gehörschützers für Geräusche mit $L_C - L_A = 10$ dB beschreibt. Wie beim PAR-Wert reicht eine Zahl zur Charakterisierung des Produkts aus.

Auch für den L-Wert muss die Anzahl der jeweils gemessenen Frequenzen berücksichtigt werden.

Tabelle 1 zeigt für einen typischen Schaumstoffstöpsel die Auswirkung von Leckagen auf den L- bzw. SNR-Wert. Dabei wurden die Dämmwerte aus der Baumusterprüfung (Original) bei 125 und 250 Hz beispielhaft um 10 bzw. 5 dB abgesenkt, um eine Leckage zu simulieren. Für den L-Wert ergibt sich eine Differenz zwischen den beiden Datensätzen von 8 dB, während der SNR-Wert sich nur um 2 dB ändert. Somit ist die Betrachtung des L-Werts deutlich empfindlicher.

Kompletter gemessener Frequenzbereich (grafischer Vergleich)

Ein direkter Vergleich der Ergebnisse mit denen der Baumusterprüfung ist auch für die einzelnen Frequenzbänder möglich. Dazu bietet sich eine grafische Darstellung an. Damit lässt sich leichter beurteilen, ob auffällige Dämmwerte bei einzelnen Frequenzen tatsächliche Abweichungen sind oder nur Schwankungen im Rahmen der Messunsicherheit bzw. Ausrei-

Frequenz in Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Original							
Mittelwert	30,8	36,1	39,2	39,5	35,8	42,1	46,1
SD	6,5	6,7	4,7	3,9	4,9	3,1	3,3
APV ₉₈	17,8	22,7	29,8	31,7	26	35,9	39,5
L ₉₈	25						
SNR ₉₈	30						
Mit Leckage							
Mittelwert	20,8	31,1	39,2	39,5	35,8	42,1	46,1
SD	6,5	6,7	4,7	3,9	4,9	3,1	3,3
APV ₉₈	17,8	22,7	29,8	31,7	26	35,9	39,5
L ₉₈	17						
SNR ₉₈	28						
Differenz zum Original							
L ₉₈	8						
SNR ₉₈	2						

Tabelle 1 Beispiel für den Effekt von Leckagen in den tiefen Frequenzen (10 dB bei 125 Hz und 5 dB bei 250 Hz) auf die Einzahlkennwerte SNR und L (jeweils mit Vertrauensniveau 98 %; APV₉₈ Mittelwert - 2. Standardabweichung). Alle Schalldämmwerte in dB.

		SNR	SNR	SNR	Energetische Mittelung der Dämmwerte	
Gehörschützer	Verlauf der Dämmkurve	125–8 000 Hz	125, 1 000, 8 000 Hz	250, 1 000, 4 000 Hz	125, 1 000, 8 000 Hz	250, 1 000, 4 000 Hz
3M E-A-RSoft FX	hoch, flach	38,4	37,8	37,8	34,3	35,3
Kombination Kapsel-Stöpsel	hoch, flach	40,7	45,2	44,8	42,7	44,1
3M E-A-RSoft Yellow Neon	hoch, steil	35,1	37,8	36,8	28,7	32,9
BachmaiER 15	niedrig, flach	14,4	16,3	13,8	14,3	13,4
Phonak Serenity Classic	niedrig, steil	24,9	24,9	25,9	16,5	20,3
typischer Kapselgehörschutz	niedrig, steil	25,6	25,7	24,6	13,6	18,6

Tabelle 2 Vergleich verschiedener Einzahlkennwerte aus nur drei Frequenzbändern mit den SNR-Werten nach DIN EN ISO 4869-2 für Gehörschützer mit unterschiedlichem Verlauf der Schalldämmkurven. Abweichend von der Norm werden die Werte zum genaueren Vergleich mit einer Nachkommastelle angegeben.

ber bei der einmaligen Messung. Eine mögliche Darstellung, die auch die Standardabweichung aus der Baumusterprüfung enthält, ist das oben beschriebene Bild.

Diese Beurteilung erfordert sicher etwas mehr Zeit als der Vergleich von Einzahlwerten, lässt aber auch bessere Rückschlüsse auf die Schutzwirkung bzw. nötige Verbesserungen zu.

Falls ein Audiometer verwendet wird, das keine Darstellung der Schalldämmwerte erlaubt (z. B. Audiometer ohne PC-Anschluss oder spezielles Gehörschutz-Modul), stehen dem Benutzer nur zwei Hörschwellenkurven zur Verfügung. Bei der Auswertung dieser beiden Kurven muss unbedingt die in der Baumusterprüfung ermittelte Frequenzabhängigkeit der Schalldämmung der Gehörschützer und der Verlauf der Hörschwellenkurven (insbesondere der offenen) berücksichtigt werden. Der einfache optische Vergleich der beiden aufgezzeichneten Kurven kann in die Irre führen und sollte so nicht durchgeführt werden.

Dämmwert aus drei Oktavfrequenzen zwischen 125 und 8 000 Hz

Es gibt Ansätze, durch eine Kombination der Messung einzelner Frequenzen auf die Praxisschalldämmung zu schließen. Da sich Leckagen in der gemessenen Schalldämmung erfahrungsgemäß nur bis 500 Hz bemerkbar machen, sollten die ausgewählten Frequenzen auch im tieffrequenten Bereich liegen, wenn Leckagen gesucht werden. Soll der SNR-Wert individuell überprüft werden, könnte man die Messung z. B. mit 125, 1 000 und 8 000 Hz oder mit 250, 1 000 und 4 000 Hz durchführen.

Tabelle 2 zeigt als Beispiel die so berechneten Dämmwerte für sechs Gehörschützer mit unterschiedlichem Verlauf der Schalldämmkurven (hoch bzw. niedrig und flach bzw. steil). Berechnet wurde jeweils der SNR-Wert nach DIN EN ISO 4869-2 für den kompletten Frequenzbereich (125 bis 8 000 Hz). Die SNR-Werte für die drei Einzelfrequenzen wurden analog zu diesem Verfahren ermittelt, indem nur die entsprechenden drei Oktavbänder für die Berechnung von Außenschallpegel und Restschallpegel unter dem Gehörschutz berücksichtigt wurden. Die letzten beiden Spalten der Tabelle enthalten schließlich den energetischen Mittelwert der Dämmwerte bei den drei Einzelfrequenzen. Dabei wurden die Werte mit negativem Vorzeichen gemittelt, d. h. die niedrigste Schalldämmung hat den stärksten Einfluss auf das Gesamtergebnis. Allerdings wird bei diesem Vorgehen jede Frequenz gleich gewichtet, während beim SNR-Wert die A-Bewertung im Bezugsspektrum enthalten ist.

Die Zahlenwerte zeigen, dass die Unterschiede zwischen dem kompletten SNR-Wert (125 bis 8 000 Hz) und den beiden Werten

aus jeweils drei Frequenzen für das Beispiel kleiner 5 dB ist. Allerdings ist keine richtige Systematik zu erkennen, die sich aus dem Verlauf der Dämmkurven ergeben würde. So haben die ersten beiden Produkte einen sehr ähnlichen Verlauf der Dämmwerte. Im Gegensatz dazu sind für die Kombination aus Stöpsel und Kapselgehörschutz beide Drei-Frequenz-Werte deutlich höher als der echte SNR, während sie für den Schaumstoffstöpsel geringfügig niedriger sind.

Der Vergleich mit den energetisch gemittelten Werten ergibt für die flachdämmenden Produkte eine gewisse Übereinstimmung. Bei steileren Dämmkurven weichen die Werte aber stark von den SNR-Varianten ab.

Die Verwendung von einem reduzierten Frequenzumfang scheint also prinzipiell möglich, allerdings sollten sowohl tiefe als auch hohe Frequenzen berücksichtigt werden, und es ist vorher zu definieren, ob als Zielwert der SNR aus der Baumusterprüfung erreicht werden soll bzw. kann oder eine andere Größe. Die energetische Mittelung von einzelnen Frequenzbändern zu einem Einzahlkennwert ist nicht zu empfehlen.

Einzelmessung, z. B. bei 500 Hz

Viele subjektive Messsysteme bieten die Möglichkeit, einen sog. Schnelltest bei nur einer Frequenz durchzuführen. Typischerweise werden dazu die 500 Hz ausgewählt. Es existieren auch audiometerartige Verfahren, die nur bei dieser Frequenz arbeiten. 500 Hz ist ein Kompromiss aus der Detektierbarkeit einer Leckage (bei höheren Frequenzen sind die Auswirkungen von Leckagen nur gering) und der Zuverlässigkeit der Messergebnisse. Zum einen wird bei den ganz tiefen Frequenzen die Hörschwellenbestimmung ohne Gehörschutz durch Umgebungsgeräusche erheblich beeinträchtigt, zum anderen wird der Umgang mit diesen Frequenzen subjektiv meist als schwieriger empfunden.

Soll eine Messung bei nur einer Frequenz genutzt werden, um eine allgemeine Aussage zum Dämmwert des Gehörschützers im gesamten Frequenzbereich zu machen (z. B. für die Beurteilung des Restschallpegels am Ohr), sollte man die Frequenz kennen, die dem Schalldämmwert des Produkts über den gesamten Frequenzbereich am nächsten kommt. Um zu klären, ob solche Messungen valide sind, wurden die Daten aus [1] (fünf Gehörschutzstöpsel und jeweils drei Messsysteme) unter diesem Aspekt neu analysiert. Tatsächlich war es in fast allen Fällen möglich, eine einzelne Frequenz zu identifizieren, für die der Einzeldämmwert für mindestens 70% der Versuchspersonen mit einer Genauigkeit von ± 5 dB mit dem PAR-Wert übereinstimmt. Welche Frequenz aber für ein bestimmtes Produkt die beste ist, wird durch die Frequenzabhängigkeit der Schalldämmwerte be-

stimmt und ist i. Allg. nicht bekannt. Betrachtet man die Baumusterdämmwerte für die fünf Produkte, liegen die idealen Frequenzen zwischen 500 Hz und 2 kHz.

Zusammenfassung – Schlussfolgerung

Die obigen Ausführungen zeigen, dass die individuelle Ermittlung von Schalldämmwerten bei unterschiedlichen Aspekten der Gehörschutzauswahl und Gehörsorge von Bedeutung ist. Je nach Einsatzgebiet und Fragestellung sind die verschiedenen Messsysteme und Bewertungskriterien unterschiedlich gut geeignet.

Insbesondere ist noch nicht vollständig geklärt, welche Messunsicherheit für eine individuelle Messung anzusetzen ist und welche Genauigkeit beim Vergleich mit Dämmwerten aus der Baumusterprüfung akzeptabel ist. Situationen, die nur die Einhaltung eines Schwellenwerts erfordern, können auch mit Systemen mit größerer Messunsicherheit bewältigt werden. Für Personen mit Hörminderung jedoch, für die der Restschallpegel am Ohr idealerweise zwischen 80 und 85 dB(A) liegen sollte, ist eine erhöhte Genauigkeit erforderlich.

Die hier vorgestellten Bewertungskriterien bieten einen ersten Ansatz, alternativ zu Messsystemen von Gehörschutz-Herstellern auch Standard-Audiometer als Messgeräte einzusetzen. Dazu benötigt der Nutzer jedoch Einsatzempfehlungen und konkrete Interpretationshilfen für die Messergebnisse. Der vorliegende Beitrag kann dazu verwendet werden.

Generell ist die Nutzung von Einzahlkennwerten möglich und für den Benutzer schnell und einfach zu handhaben. Ihre Aussagekraft ist jedoch durch die Mittelung über einen weiten Frequenzbereich begrenzt.

Im direkten Vergleich zeigt sich der L-Wert (möglichst mit einem Vertrauensniveau von 98 %) für die Identifizierung von Leckagen als besser geeignet als der PAR-Wert.



Dr. **Sandra Dantscher**, Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Sankt Augustin, Dipl.-Phys.

Peter Sickert, Fachbereich Persönliche Schutzausrüstungen der DGUV, Sachgebiet Gehörschutz, Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Nürnberg.

Danksagung

Die Autoren danken *Patrick Dyrba* und *Thomas Fritsch* von der BGN in Mannheim für die Beteiligung an der Studie durch Messungen, Datenauswertung und Diskussion.

Literatur

- [1] *Dyrba, P.; Dantscher, S.; Fritsch, T.; Sickert, P.*: Vergleich verschiedener Messsysteme zur Ermittlung der individuellen Schalldämmung von Gehörschutzstöpseln. *Lärmbekämpf.* 9 (2014) Nr. 6, S. 255-265.
- [2] DIN ISO 4869-1: Akustik – Gehörschützer – Subjektive Methode zur Messung der Schalldämmung. Berlin: Beuth Verlag 1991.
- [3] DIN EN ISO 11904-1: Akustik – Bestimmung der Schallimmission von ohrnahen Schallquellen – Teil 1: Verfahren mit Mikrofonen in menschlichen Ohren (MIRE-Verfahren). Berlin: Beuth Verlag 2003.
- [4] Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007. BGBl. I, S. 261, zul. geänd. durch Art. 3 der Verordnung vom 19. Juli 2010. BGBl. I, S. 960.
- [5] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV Lärm). GMBI. Nr. 18-20 vom 23. März 2010, S. 359.
- [6] DGUV Grundsatz G 20 „Lärm“. In: DGUV Grundsätze für arbeitsmedizinische Untersuchungen, 6. Aufl. Stuttgart: Gentner-Verlag 2014.
- [7] DGUV Information 212-823: Ärztliche Beratung zum Gehörschutz. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)., Berlin 2014.
- [8] *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* 13 (2014) Nr. 51, S. 163-175.
- [9] DIN EN ISO 8253-1: Akustik – Audiometrische Prüfverfahren – Teil 1: Grundlegende Verfahren der Luft- und Knochenleitungsschwellenaudiometrie mit reinen Tönen. Berlin: Beuth Verlag 2011.
- [10] *Carter, N. L.; Upfold, G.*: Comparison of earphone and sound field methods for estimating noise attenuation of foam earplugs. *AIHA Journal* 54 (1993) Nr. 6, S. 307-312.
- [11] *Trompette, N.; Kusy, A.*: Testing of commercially available systems for hearing protector based on individual fit testing. *InterNoise* 13, S. 1398-1407. Innsbruck, Österreich 2013.
- [12] *Micheal, P. L.; Kerlin, R. L.; Bienvenue, G. R.; Prout, J. H.; Shampian, J. I.*: A real-ear field method for the measurement of the noise attenuation of insert-type hearing protectors. HEW Publication No. (NIOSH) 76-181, NIOSH, Cincinnati (Ohio) 1976.
- [13] *Kotarbinska, E.; Rogowski, K.*: Real-world performance of earplugs measured by personal attenuation rating. Forum Acusticum, Krakau, Polen 2014.
- [14] DIN EN ISO 4869-2: Akustik – Gehörschützer – Teil 2: Abschätzung der beim Tragen von Gehörschützern wirksamen A-bewerteten Schalldruckpegel Berlin: Beuth Verlag 1995.