

Vergleich verschiedener Messsysteme zur Ermittlung der individuellen Schalldämmung von Gehörschutzstöpseln

Patrick Dyrba, Mannheim, Sandra Dantscher, Sankt Augustin, Thomas Fritsch, Mannheim, Peter Sickert, Nürnberg

Zusammenfassung In den letzten Jahren wurden verschiedene Messsysteme auf den deutschen Markt gebracht, mit deren Hilfe die individuelle Schalldämmung von Gehörschutzstöpseln ermittelt werden kann. Teilweise werden diese Geräte bereits von Betriebsärzten oder Sicherheitsfachkräften in Betrieben oder von Gehörschutzherstellern eingesetzt. In der hier vorgestellten Studie wurden fünf solcher Messsysteme im direkten Vergleich zueinander getestet. Wie das Ergebnis zeigt, unterstützt die individuelle Messung der Schalldämmung prinzipiell eine optimale Gehörschutzauswahl zur Vermeidung von Unter- und Überprotektion. Jedoch liefern nicht alle Messsysteme immer die gleichen Ergebnisse.

Comparison of different measurement systems for the assessment of the individual noise attenuation of ear-plugs

Summary During the last years, a number of measuring systems has been presented to the German market which allow the individual determination of the sound attenuation of ear plugs. In some cases, these systems are already applied in the companies by professional physicians or safety engineers or by hearing protector manufacturers. For the study presented here, five of these measurement systems have been tested in direct comparison. The results show that the individual attenuation measurement in principle supports an optimum selection of hearing protectors helping to avoid under- or over-protection. However, not all measurement systems yield always the same results.

Aus verschiedenen Gründen ist es von Interesse, die individuelle Schalldämmung von Gehörschutzstöpseln zu bestimmen. Im Gegensatz zu Kapselgehörschutz hat hier das individuelle Verhalten beim Einsetzen und die Anatomie des Trägers (Gehörgangform) eine erhebliche Bedeutung. Für Gehörschutz-Otoplastiken wird die Situation noch komplizierter, weil diese Produkte individuell gefertigt werden. Dadurch entsteht unabhängig vom Benutzungsverhalten eine weitere mögliche Fehlerquelle. Außerdem ist eine solche Funktionskontrolle entsprechend EG-Richtlinie 89/686/EWG [1] (PSA-Hersteller-Richtlinie) Bestandteil der Baumusterprüfung.

Überprüfung des maximal zulässigen Expositionswerts

In der europäischen Lärmrichtlinie 2003/10/EG [2] wird der Begriff des Expositionsgrenzwerts neu eingeführt. Dieser Wert darf am Ohr jedes einzelnen Beschäftigten unter dem Gehörschutz nicht überschritten werden. Die Richtlinie legt dafür den Tageslärmaximierungspegel $L'_{EX,8h} = 87$ dB(A) und den Spitzenschalldruckpegel $L'_{p,Cpeak} = 140$ dB(C) fest. In der deutschen Umsetzung

der Richtlinie, der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV [3]), wurde der Begriff „Grenzwert“ vermieden und stattdessen der maximal zulässige Expositionswert (MZE) definiert. Außerdem wurden die Werte an die oberen Auslösewerte angeglichen, sodass national die Werte von $L'_{EX,8h} = 85$ dB(A) und $L'_{p,Cpeak} = 137$ dB(C) einzuhalten sind.

Für alle Beschäftigten ist sicherzustellen, dass die MZE eingehalten sind. Diese Forderung zwingt zu Korrekturen im Auswahlverfahren.

Vor Einführung der maximal zulässigen Expositionswerte basierte die Auswahl von Gehörschutz auf Schalldämmwerten, die bei der Baumusterprüfung durch Labormessungen ermittelt wurden. Bei einer Baumusterprüfung werden durch ein subjektives Messverfahren nach DIN ISO 4869-1 [4] Dämmwerte für den Gehörschutz mit 16 Versuchspersonen unter optimalen Tragebedingungen bestimmt. Ziel ist dabei, die Leistungsfähigkeit des Produkts bei ordnungsgemäßer und sorgfältiger Anwendung zu charakterisieren.

Für die Frage der Einhaltung der maximal zulässigen Expositionswerte sind zwei Aspekte zu berücksichtigen:

- Typische Anwender erreichen in der Praxis an Arbeitsplätzen i. Allg. niedrigere Dämmwerte als die Bezugsgruppe bei der Baumusterprüfung (siehe nächster Abschnitt).
- Die Dämmwerte der Gruppe von Versuchspersonen liefern nur eine statistische Angabe über Mittelwert und Standardabweichung aus den 16 gemessenen Dämmwerten. In der Normenreihe EN 352 [5], die bei der Baumusterprüfung von Gehörschutz angewendet wird, wurde der „Assumed protection value“ (APV) als Mittelwert minus Standardabweichung festgelegt. Dies entspricht einem Vertrauensniveau von 84%, d. h. 84% der Träger erreichen mindestens den angegebenen APV als Schalldämmung. Der APV wird für alle Prüffrequenzen von 63 bis 8000 Hz angeführt. Meist werden für die Auswahl allerdings die sog. HML-Werte oder der SNR-Wert verwendet, die den Frequenzinhalt des Arbeitsplatzgeräuschs nicht in einzelnen Frequenzbändern berücksichtigen, sondern nur nach den Kategorien hoch-, mittel- oder tieffrequent (HML) oder über die Differenz $L_C - L_A$ des Arbeitslärms (SNR). Auch diese Kennwerte beruhen auf dem APV und haben somit eine Vertrauenswahrscheinlichkeit von 84%. Je nach Standardabweichung aus der Baumusterprüfung, die für einzelne Gehörschützer im Bereich von 6 bis 8 dB liegen kann, ist die Spanne möglicher Dämmwerte eines einzelnen Benutzers erheblich. Dabei sind Unter- und Überprotektion zu berücksichtigen.

Reduzierte Praxisschalldämmung

Durch zahlreiche Studien von verschiedenen Institutionen weltweit [6 bis 8] wurde gezeigt, dass die Schalldämmwerte, die in der Praxis an Arbeitsplätzen erreicht werden, deutlich niedriger sind

als die Ergebnisse aus Labormessungen mit erfahrenen Versuchspersonen. Ursache dieser Abweichungen können neben nicht sachgemäßem Ein- oder Aufsetzen auch Alterungseffekte, die gleichzeitige Benutzung anderer persönlicher Schutzausrüstung am Kopf oder falsche Auswahl des Gehörschützers sein. Insbesondere vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel aus Schaumstoff zeigen erhebliche Differenzen zur Laborschalldämmung, so dass Korrekturwerte angeraten scheinen.

Diese sog. Praxisabschläge (engl.: de-rating) können auf verschiedene Arten realisiert werden. In Deutschland sind feste Abschläge für die einzelnen Arten von Gehörschutz in der Anwendung, die auf Studien des IFA ([7; 9]) beruhen: für vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel 9 dB, für fertig geformte Gehörschutzstöpsel, Bügelstöpsel und Kapselgehörschützer jeweils 5 dB und für Gehörschutz-Otoplastiken mit Funktionskontrolle 3 dB. In Frankreich wird ein ähnliches System praktiziert, das feste Abschläge mit dem Abzug von zwei Standardabweichungen vom Mittelwert kombiniert [10]. In den USA hingegen ist ein Verfahren der staatlichen Arbeitsschutzbehörde OSHA im Einsatz, das einen relativen Abschlag von 50% vom Labordämmwert (NRR) festlegt [11]. Andererseits empfiehlt das US-amerikanische Forschungsinstitut für Arbeitsschutz (NIOSH) nach Gehörschützerart gestaffelte relative Abschläge: Abzug von 25% für Kapselgehörschützer, von 50% für Schaumstoffstöpsel und von 70% für alle anderen Stöpsel [12]. Darüber hinaus gibt es noch weitere Ansätze in anderen Ländern, so dass für dasselbe Produkt je nach Einsatzort verschiedene Praxis-Schalldämmwerte angenommen werden können.

Leider liefern Praxisabschläge keine Aussage über die individuell erreichte Schalldämmung, da auch die Abschläge über Messungen mit einem Kollektiv von Versuchspersonen ermittelt wurden. Dabei ist zu beachten, dass die Streubreite der in der Praxis erreichten Schalldämmwerte deutlich größer ist als die in der Baumusterprüfung. Es gibt meist einen kleinen Teil der Gehörschutzbenutzer, die auch am Arbeitsplatz annähernd die Werte aus der Baumusterprüfung erreichen.

Erfolgt nun die Auswahl von Gehörschutz für alle Beschäftigten pauschal mit den Praxisabschlägen, können solche Benutzer durch zu hohe, für den Arbeitsplatz ungeeignete Dämmwerte Probleme durch Überprotektion (Isolationsgefühl, Überhören von Warnsignalen) haben. Grundsätzlich ist festzustellen, dass Praxisabschläge ganz im Sinne der LärmVibrationsArbSchV das Risiko zu geringer Schalldämmung (Unterprotektion) beseitigen oder minimieren sollen.

Aus diesen Gründen wurden verschiedene Messverfahren entwickelt, die eine Bestimmung der individuellen Schalldämmung ermöglichen sollen. Diese Verfahren wurden zuerst in den USA angewendet. Inzwischen sind aber auch in Europa vertretene Gehörschutzhersteller sowie Anwender und Unfallversicherungsträger an dieser Entwicklung beteiligt.

Funktionskontrolle von Gehörschutz-Otoplastiken

Zusätzlich zu der oben beschriebenen Problematik, die alle Arten von Gehörschutz betrifft, ist für Gehörschutz-Otoplastiken noch ein weiterer Aspekt zu betrachten. Diese Produkte werden individuell nach einer Ohrabformung des Trägers angefertigt und erreichen die in der Baumusterprüfung ermittelte Schutzwirkung nur, wenn sie den Gehörgang korrekt verschließen. Durch Fehler oder Ungenauigkeiten bei der Ohrabformung oder der Herstellung (Bildbearbeitung am Computer oder mechanische Bearbeitung des Rohlings) kann es zu Leckagen kommen, die die erreichbare Schalldämmung signifikant reduzieren. Da sich dieses Problem nicht durch besonders sorgfältiges Einsetzen lösen lässt (wie z. B.

bei Schaumstoffstöpseln), ist eine Überprüfung nach Fertigstellung nötig.

Dies lässt sich durch eine individuelle Messung ermitteln, die sog. Funktionskontrolle. Seit 2008 wird die Funktionskontrolle von Gehörschutz-Otoplastiken in der DGUV Regel 112-194 [13] genannt und ist seit 2010 auch in den Technischen Regeln zur Lärm-VibrationsArbSchV (TRLV Lärm [14]) enthalten.

Bei der Auslieferung muss eine Kontrolle durch den Hersteller stattfinden (innerhalb von sechs Monaten), um nachzuweisen, dass das Produkt korrekt gefertigt wurde und den geprüften Baumustern entspricht, sodass die Dämmwerte aus der Baumusterprüfung anwendbar sind. Diese Verpflichtung ergibt sich aus den Anforderungen der EG-Richtlinie zur Persönlichen Schutzausrüstung 89/686/EWG.

Darüber hinaus ist der Arbeitgeber nach § 8 (4) der Lärm-VibrationsArbSchV verpflichtet, den Zustand des bereitgestellten Gehörschutzes regelmäßig zu überprüfen. Für Gehörschutz-Otoplastiken ist nach TRLV Lärm wiederkehrend alle zwei Jahre eine Funktionskontrolle durchzuführen. Der Arbeitgeber kann die Durchführung delegieren, z. B. an den Betriebsarzt, oder durch den Hersteller der Gehörschutz-Otoplastik durchführen lassen.

Die einschlägigen Vorschriften (wie z. B. auch die Präventionsleitlinie „Einsatz von Gehörschutz-Otoplastiken“ [15]) machen keine Vorgaben hinsichtlich der einzusetzenden Messmethode. Bei den Verfahren für die wiederkehrende Prüfung muss die Vergleichbarkeit mit den Prüfergebnissen der Funktionskontrolle bei Auslieferung sichergestellt sein. Dies erfordert eine Kalibrierung des einzusetzenden Verfahrens bei der Abnahmemessung.

Da die Funktionskontrollen für alle Gehörschutz-Otoplastiken durchzuführen sind, ergibt sich ein Problem für ältere Produkte, die ohne Kontrolle durch den Hersteller ausgeliefert wurden. Dann existieren keine Vergleichswerte, an denen sich der Betriebsarzt orientieren kann.

Im Prinzip lassen sich die oben angesprochenen Messverfahren für die individuelle Schalldämmung auch für die Funktionskontrolle anwenden. Zusätzlich ist auch eine Druckprüfung möglich (und wird seit vielen Jahren praktiziert). Damit ist keine Ermittlung von Schalldämmwerten verbunden, es werden nur die Dichtigkeit bzw. Leckrate der Otoplastik im Ohrkanal bestimmt.

Zielstellung

Wie schon beschrieben, wurden verschiedene Verfahren entwickelt, um die individuelle Schalldämmung von Gehörschützern, insbesondere Gehörschutzstöpseln, zu ermitteln. Dabei unterscheiden sich die Verfahren meist deutlich von dem der Baumusterprüfung, sodass ohne Nachprüfung nicht anzunehmen ist, dass die Dämmwerte aus den verschiedenen Messsystemen mit denen der Baumusterprüfung übereinstimmen. Hierbei ist auch zu beachten, dass die Werte der Baumusterprüfung für eine Gruppe von 16 Versuchspersonen ermittelt werden und nicht für eine einzelne Person.

Zu diesem Thema wurden bereits einige Studien durchgeführt, die teilweise ausreichende bis gute Übereinstimmungen zwischen individueller Schalldämmung und Baumusterprüfung feststellen konnten. In einer Arbeit von *Kotarbinska* [16; 17] wurde das System VeriPRO von Howard Leight verwendet. Dabei lagen die individuell ermittelten Schalldämmwerte unterhalb der Labor-SNR-Werte und stimmten eher mit den NRR-Werten überein, für die zwei Standardabweichungen vom Mittelwert abgezogen werden. Das INRS [18] verglich verschiedene Messsysteme direkt mit der Baumusterprüfung. Die Übereinstimmung war bis auf VeriPRO akzeptabel. *Berger et al.* [19] entwickelten für das E-A-Rfit-System von 3M durch den Vergleich der individuellen Daten mit Werten aus der Bau-

musterprüfung Korrekturfaktoren, sodass für die meisten Fälle eine gute Übereinstimmung der individuellen Schalldämmung mit der Baumusterprüfung gegeben ist. *Murphy* [20] publizierte eine Arbeit, in der ebenfalls verschiedene Prüfverfahren gegenübergestellt werden. Allerdings werden dabei nur die Berechnungsverfahren für die Dämmung und Restpegel am Ohr betrachtet, da alle Systeme als Eingabe dieselben Oktavdämmwerte erhalten.

Im Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) schließlich wird zurzeit in einer Studie die Eignung von Audiometern für die Gehörschützerprüfung und Funktionskontrolle von Gehörschutz-Otoplastiken untersucht.

Hauptziel der vorliegenden gemeinsamen Studie der Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN), des Sachgebiets Gehörschutz im Fachbereich Persönliche Schutzausrüstungen der DGUV und des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) war der Vergleich verschiedener, kommerziell erhältlicher Messsysteme für die Bestimmung der individuellen Schalldämmung von Gehörschutzstöpseln. Das Augenmerk lag dabei auf Verlässlichkeit, Wiederholbarkeit und Anwendbarkeit für verschiedene Arten von Gehörschutzstöpseln. Die so gewonnenen Erfahrungen könnten auch in ein Normungsprojekt des CEN/TC 159 „Gehörschützer“ einfließen, das Anforderungen an die Leistungsfähigkeit solcher individueller Messsysteme festlegen soll.

Die untersuchten Geräte werden im nächsten Abschnitt beschrieben.

Messverfahren

Messprinzipien: Audiometer, Lautstärkevergleich, MIRE

Der Bezugswert („Goldstandard“) für die Bestimmung der Schalldämmung von Gehörschutz ist das sog. REAT-Verfahren („Real ear attenuation at threshold“) nach DIN ISO 4869-1, 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 *Békésy*) ermittelt. Dabei werden die Pegel mehrmals abwechselnd erhöht und reduziert und der Hörschwellenpegel nach oben und unten eingegrenzt. Das REAT-Verfahren liefert Aussagen über die Stichprobe von 16 Versuchspersonen (Mittelwert, Standardabweichung) und erfordert den Vorgaben der Norm entsprechend einen Raum mit sehr niedrigen Störgeräuschpegeln und einem diffusen Schallfeld.

Ein vom Prinzip her ähnliches Verfahren lässt sich mithilfe eines Audiometers realisieren. Auch hier wird die Hörschwelle der Versuchsperson mit und ohne Gehörschutz gemessen. Unterschiede zum REAT-Verfahren sind die Schallquellen (meist Kopfhörer, teilweise auch Lautsprecher für Freifeldaudiometrie) und die Prüfsignale (Sinustöne). Die Hörschwelle kann dabei entweder mit monoton ansteigenden Pegeln oder mittels eines Eingabelungsverfahrens bestimmt werden.

Ein weiteres subjektives Messverfahren basiert auf dem Lautstärkevergleich. Dabei wird nicht an der Hörschwelle gemessen, sondern bei deutlich höheren Pegeln im Bereich von 60 dB(A). Die Lautstärke der über Kopfhörer angebotenen Sinustöne 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.

Eine Messmethode, die nicht auf die Mitarbeit der Versuchsperson angewiesen ist, ist das sog. MIRE-Verfahren („Microphone in real ear“), das 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 [21] beschrieben. Als Schallquelle können Lautsprecher oder Kopfhörer verwendet werden.

Verfügbare Messsysteme

Audiometer (und ähnliche Systeme):

- MA 33 (Fa. Maico): PC-basiertes Audiometer mit spezieller Software zur Anzeige der Messungen mit Gehörschutzstöpseln; Schallquelle: Kopfhörer, für alle Gehörschutzstöpsel anwendbar.
- Oscilla (Fa. Inmedico): PC-basiertes Audiometer mit spezieller Software zur Ausgabe eines Messbericht zur Gehörschützerprüfung; Schallquelle: Kopfhörer, für alle Gehörschutzstöpsel anwendbar.
- CAPA (Fa. Cotral): PC-basiertes Messsystem (kein Audiometer), automatisierte Messung, Dämmwerte von Gehörschutzstöpseln hinterlegt; Schallquelle: Kopfhörer, für alle Gehörschutzstöpsel anwendbar.
- ePRO-Meter (Fa. Egger): PC-basiertes Messsystem (kein Audiometer); Schallquelle: Kopfhörer, für alle Gehörschutzstöpsel anwendbar.

Lautstärkevergleich:

- VeriPRO (Fa. Honeywell): einziges System mit Lautstärkevergleich; Schallquelle: Kopfhörer, für alle Gehörschutzstöpsel anwendbar.

MIRE:

- E-A-Rfit (Fa. 3M): PC-basiertes System, Breitbandmessung über sieben Frequenzen; Schallquelle: Lautsprecher, nur für speziell präparierte Stöpsel der Fa. 3M anwendbar, für jedes Produkt im System hinterlegte Korrekturwerte.
- CT-EarGuard (Fa. Ceotronics): PC-basiertes System, Breitbandmessung über sieben Frequenzen; Schallquelle: Lautsprecher, nur für Ceotronics-Gehörschutz-Otoplastiken anwendbar.
- Elacin SI-Meter (Fa. Elcea): Komplettgerät; Schallquelle: Lautsprecher, für verschiedene Gehörschutz-Otoplastiken anwendbar (falls Filteradapter verfügbar).
- SV 102 (Fa. Svantek): Zweikanal-Dosimeter, Schalldämmungsbestimmung durch Messung unter dem Gehörschutz (mit Sondenmikrofon) und auf der Schulter, externe Schallquelle nötig, nur für Kapselgehörschutz anwendbar.

Prüfgrößen: Oktavwerte und PAR-Wert

Mit fast allen o. a. Messsystemen können Dämmwerte für einzelne Frequenzen bzw. Frequenzbänder (Terzen) ermittelt werden. Liegen Dämmwerte bei allen Oktavmittenfrequenzen von 125 Hz bis 8 kHz vor, könnten im Prinzip alle Kenngrößen bzw. Auswahlverfahren aus der DIN EN ISO 4869-2 [22] angewendet werden: Oktavbandmethode, HML-Methode bzw. HML-Check und SNR-Methode.

Die Oktavbandmethode ist relativ aufwendig und wird erfahrungsgemäß heute nur für Einzelfälle (wie Personen mit starkem Hörverlust oder spektral auffällige Arbeitsgeräusche) eingesetzt.

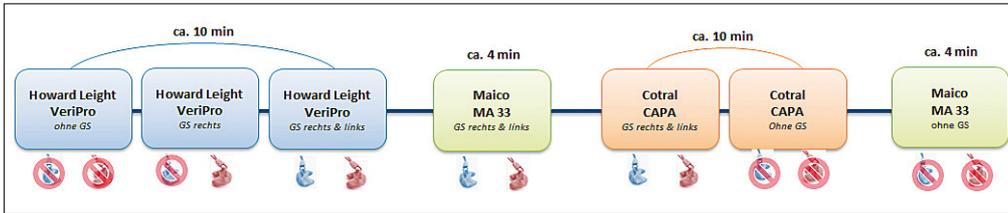


Bild 1 Ablauf der ersten Studie. Dabei sind jeweils die Messzeit und der eingesetzte Gehörschutzstöpsel (rechtes oder linkes Ohr) angegeben.

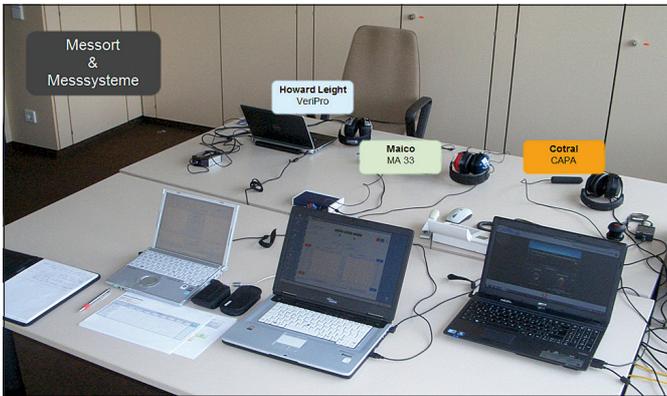


Bild 2 Versuchsaufbau erste Studie. Jedes Messsystem wird von einem eigenen Rechner gesteuert.

Allerdings steht es dem Benutzer der Messsysteme meist frei, wie viele der möglichen Prüffrequenzen er messen will. Teilweise wird auch ein Schnelltest angeboten, bei dem nur wenige Frequenzen (ein bis drei) eingesetzt werden. Gerade wenn nur bei 500 Hz gemessen wird, ist die Aussagekraft des Ergebnisses eingeschränkt, kann aber für eine schnelle Kontrolle (z. B. um Problemfälle zu identifizieren) ausreichen.

Damit die Ergebnisse der Messsysteme für den Anwender leicht zu interpretieren sind, wurde der sog. PAR-Wert (Personal attenuation rating) definiert. Diese Größe wird von den meisten Systemen berechnet, die die Schalldämmung in mehreren Frequenzbändern messen. Er ist an den SNR-Wert der DIN EN ISO 4869-2 angelehnt und benutzt dasselbe Bezugsspektrum, um die Pegelminderung durch den Gehörschutz zu berechnen. Dies bedeutet, dass der C-bewertete Schallpegel am Arbeitsplatz bekannt sein muss. Davon wird der SNR- bzw. PAR-Wert abgezogen, um den A-bewerteten Restpegel am Ohr unter dem Gehörschutz zu erhalten. Der PAR ist gut geeignet, um verschiedene Gehörschützer miteinander zu vergleichen. Da aber alle Frequenzen zu dem Einzahlkennwert beitragen, sind z. B. Leckagen im tieffrequenten Bereich meist nicht deutlich sichtbar. Außerdem ist bei einem direkten Vergleich von individuell ermitteltem PAR einerseits und SNR aus der Baumusterprüfung andererseits zu bedenken, dass der SNR-Wert eine Vertrauenswahrscheinlichkeit von 84 % hat, d. h. bei ungefähr 16 % der Träger ist eine niedrigere Dämmung zu erwarten, ohne dass man eine Abweichung von der Baumusterprüfung feststellen könnte.

Versuchsdurchführung

Die Messungen wurden in zwei zeitlich getrennten Studien mit jeweils drei Messsystemen durchgeführt. Dabei wurde ein System zweimal eingesetzt (Maico MA 33), sodass insgesamt fünf Systeme untersucht wurden. Für die beiden Studien wurden fünf Gehörschützer ausgewählt, die jeweils stellvertretend das Verhalten einer Produktgruppe widerspiegeln oder für die Messsysteme geeignet sind.

Erste Studie: MA 33, VeriPRO, CAPA

Da die eingesetzten Messsysteme unterschiedliche Startvoraussetzungen benötigen, musste vorab die Reihenfolge der Durchführung der Messreihe sinnvoll festgelegt werden (siehe **Bild 1**). Je Messgerät wurde ein eigener Laborrechner eingesetzt, um einen störungsfreien Ablauf der Programme zu ermöglichen. Zielvorgabe war es, dass der Gehörschutz während der gesamten Messreihe unverändert im Ohr verbleibt. **Bild 2** zeigt den Versuchsaufbau für diese Messreihe. VeriPRO von Howard Leight wurde vom Gehörschutzbenutzer selbst bedient. Die anderen Geräte wurden automatisch (CAPA) oder vom Versuchsleiter gesteuert.

Begonnen wurde die Messreihe mit dem VeriPRO-Messverfahren von Howard Leight. Als erstes erfolgte ein Lautstärkeabgleich ohne Gehörschutzmittel. Dazu wurde vom Probanden die Lautstärke eines Tons in einem Ohr mit einem Ton mit bekannter Lautstärke im anderen Ohr abgeglichen. Nach erfolgreicher Einstellung wurde die eigentliche Messung gestartet. Dabei wurde der Lautstärkeabgleich über die Frequenzen durchgeführt. Danach musste der Benutzer den Gehörschutz ins rechte Ohr einsetzen und der Lautstärkeabgleich wurde über eine Reihe von Frequenzen wiederholt. Dann wurde der Benutzer aufgefordert, den Gehörschutz ins linke Ohr einzusetzen, und die Messung wurde ein drittes Mal durchgeführt. Der Gehörschutz im rechten Ohr verblieb weiterhin im Ohr des Benutzers. Nach Ende der Messung erhielt der Benutzer für beide Ohren eine persönliche Bewertung der Dämmung.

Als nächstes wurde die Messreihe mit dem Audiometer MA 33 von Maico fortgesetzt. Im Menü wurde das Programm „Gehörschutzprüfung“ ausgewählt: Dabei werden die Hörkurven mit und ohne Gehörschutzmittel aufgenommen. Für die Messung wurde eine Pegelschrittweite von 5 dB eingestellt. Zuerst wurde die Hörkurve des rechten Ohrs mit Gehörschutz aufgenommen, danach die des linken Ohrs mit Gehörschutz. Dem Probanden wurde eine Reihe von Frequenzen vorgespielt, die er mithilfe der Antworttaste beim erstmaligen Wahrnehmen bestätigen musste. Um eine erhöhte Genauigkeit zu erzielen, wurde die Messung auf beiden Seiten wiederholt. Nach Beenden der Messung verblieb der Gehörschutz wieder im Ohr.

Als nächstes erfolgte die Messung mit dem CAPA-System von Cotral. Bei diesem System folgte der Benutzer den Anweisungen des Test-Assistenten. Die Messung startete mit der Bestimmung der Hörschwelle bei eingesetztem Gehörschutz in beiden Ohren. Der Benutzer hörte eine Reihe von Frequenzen, die jeweils drei- bis zehnmal wiederholt werden. Diese müssen jeweils mit der Antworttaste vom Benutzer bestätigt werden. Vom Programm werden die Töne abwechselnd am rechten und linken Ohr wiedergegeben. Nach den Messungen mit Gehörschutz wird der Benutzer vom Test-Assistenten aufgefordert, den Gehörschutz zu entfernen und die Messung zu wiederholen. Es erfolgt die Bestimmung der Hörschwelle ohne Gehörschutzmittel.

Einige Messungen mit CAPA-System konnten nicht für die Auswertung verwendet werden, da das Programm ein erneutes Einsetzen des Gehörschutzes während der Messung verlangte, wodurch

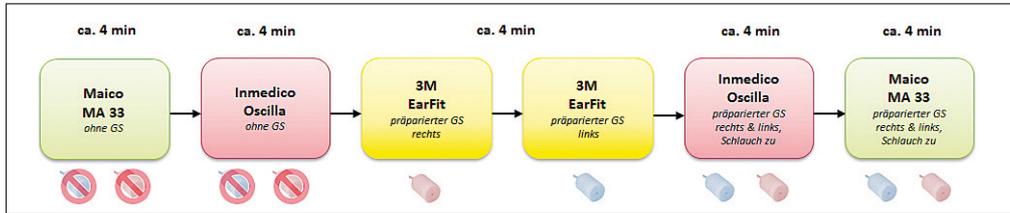


Bild 3 Ablauf der zweiten Studie. Dabei sind jeweils die Messzeit und der eingesetzte Gehörschutzstöpsel (rechtes oder linkes Ohr) angegeben.

die Zielvorgabe – der Gehörschutz verbleibt während der gesamten Messreihe im Ohr – nicht erfüllt wäre.

Zum Schluss wurde noch die Hörschwelle ohne Gehörschutzmittel mit dem MA 33 von Maico gemessen.

Nach Abschluss der Messungen erfolgte die Ermittlung der Dämmwerte der einzelnen Messsysteme. Beim VeriPRO- und CAPA-System können die Dämmwerte der getesteten Frequenzen dargestellt werden. Beim MA 33 werden beide ermittelten Kurven in einem Diagramm dargestellt, die jeweiligen Dämmwerte werden darunter tabellarisch angeführt.

Zweite Studie: MA 33, Oscilla, E-A-Rfit

Die zweite Messreihe wurde mit den beiden Audiometern MA 33 von Maico und Oscilla von Inmedico sowie dem System E-A-Rfit von 3M durchgeführt. Dazu wurde der Messablauf aus **Bild 3** gewählt. **Bild 4** zeigt den Versuchsaufbau für die zweite Studie.

Für die Durchführung der Messungen mussten präparierte Gehörschutzmittel der Fa. 3M verwendet werden, da nur für diese Gehörschutzstöpsel das 3M E-A-Rfit-System einsetzbar ist.

Begonnen wurde mit dem Audiometer MA 33 von Maico. Zuerst wurde die Hörschwelle des Probanden ohne Gehörschutz ermittelt. Die Vorgehensweise entspricht der oben beschriebenen. Danach erfolgte die Ermittlung der Hörschwelle ohne Gehörschutzmittel mit dem Audiometer Oscilla von Inmedico. Die vorgespielten Töne bestätigte der Benutzer beim erstmaligen Wahrnehmen durch die Antworttaste. Bei beiden Systemen wurde die Pegelschrittweite auf 5 dB eingestellt.

Nach der Messung wurde vom Probanden der präparierte Gehörschutz in das rechte Ohr eingesetzt. Es erfolgte die Bestimmung des Dämmwerts des rechten Ohrs unter Verwendung des E-A-Rfit-Systems. Nach erfolgreicher Messung wurde der Gehörschutz in das linke Ohr eingesetzt und die Messung des E-A-Rfit-Systems gestartet (siehe **Bild 5**). Die Auswertung kann sofort nach Beenden der Messung angezeigt werden.

Der Proband ließ den Gehörschutz in beiden Ohren einsetzen. Für die weiteren Messungen mit Gehörschutz wurden lediglich die Sondenschläuche der präparierten Gehörschutzstöpsel abgeschnitten und die Enden mit einem Maisstärke-Wassergemisch verschlossen (siehe **Bilder 6** und **7**). Dadurch konnten die Stöpsel unter den Kopfhörern der Audiometer getragen werden, ohne dass Leckagen die Schalldämmung beeinflussen.

So konnte mit den Oscilla- und Maico-Systemen die Hörschwelle mit Gehörschutz ermittelt werden.

Ergebnisse

In der ersten Studie wurden mit den ersten drei beschriebenen Verfahren drei Gehörschützer untersucht: eine Gehörschutz-Otoplastik (Phonak Serenity Classic), ein fertig geformter Lamellenstöpsel (3M E-A-R Ultrafit) und ein vor Gebrauch zu formender Schaumstoffstöpsel (3M E-A-RSoft Yellow Neon). Die **Bilder 8** bis **10** zeigen die Ergebnisse dieser Messungen. Dabei ist jeweils der Mittelwert der PAR-Werte über alle Versuchspersonen aufgetragen. Je nach Verfahren wurden unterschiedlich viele Frequenzen gemessen, z. B. für VeriPRO 250 Hz bis 4 kHz, für CAPA 125 Hz bis

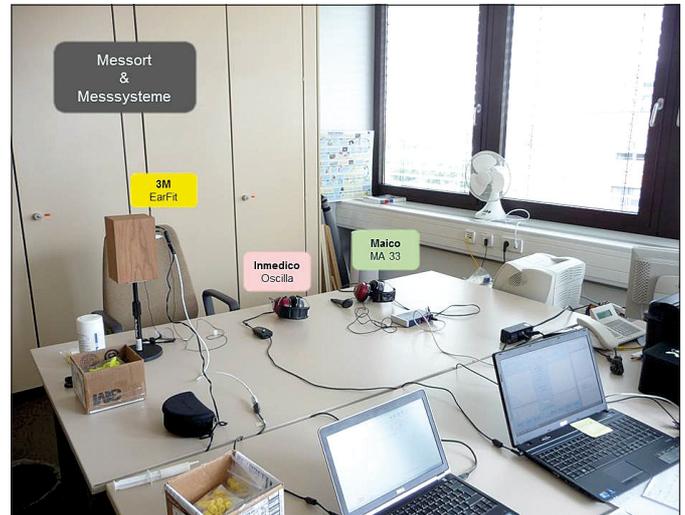


Bild 4 Versuchsaufbau der zweiten Studie. Jedes Messsystem wird von einem eigenen Rechner gesteuert.



Bild 5 E-A-Rfit-System mit Stöpsel mit Sondenschlauch (3M E-A-RSoft FX) mit Anschluss an das Messmikrofon.



Bild 6 Stöpsel aus Bild 5 (Sitz unverändert), nachdem der Sondenschlauch gekürzt und die Öffnung verschlossen wurde.

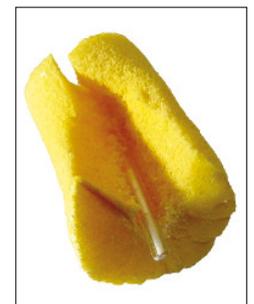


Bild 7 Aufgeschnittener Stöpsel (3M E-A-R Classic II). Der abgeschnittene Sondenschlauch wurde mithilfe eines Maisstärke-Wassergemischs verschlossen.

8 kHz. Der jeweilige Frequenzbereich wurde bei der Berechnung des PAR-Werts berücksichtigt. Zusätzlich zum Mittelwert über die Versuchspersonen sind die Standardabweichungen und der SNR-Wert aus der Baumusterprüfung eingetragen.

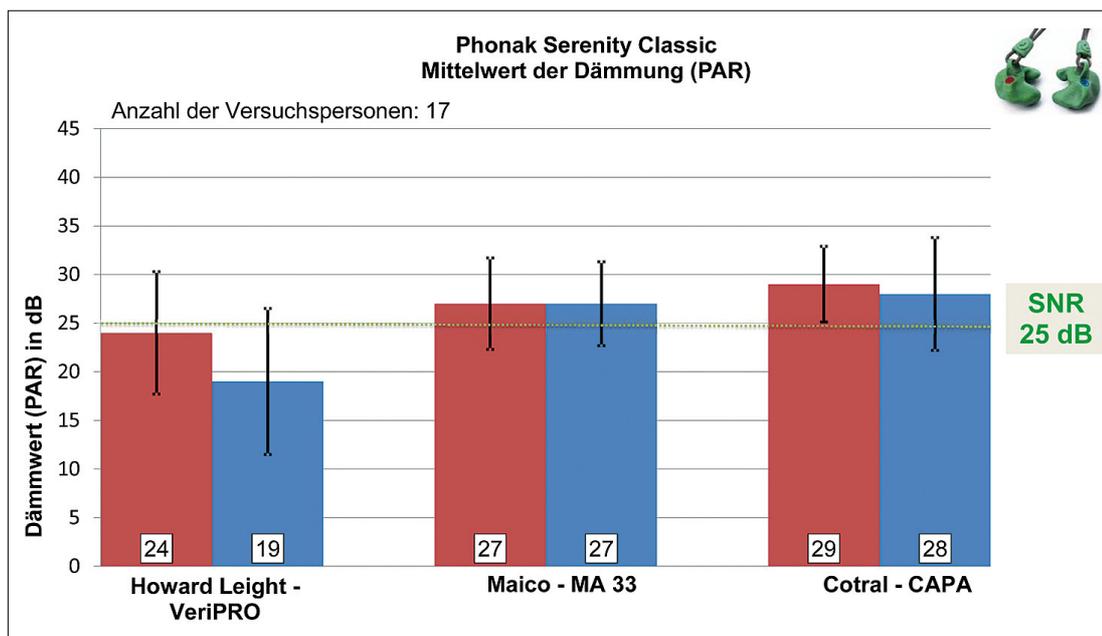


Bild 8 Vergleich der PAR-Dämmwerte für die Gehörschutz-Otoplastik Phonak Serenity Classic (Mittelwerte und Standardabweichungen über 17 Probanden), gewonnen mit den Messsystemen VeriPRO, MA 33 und CAPA.

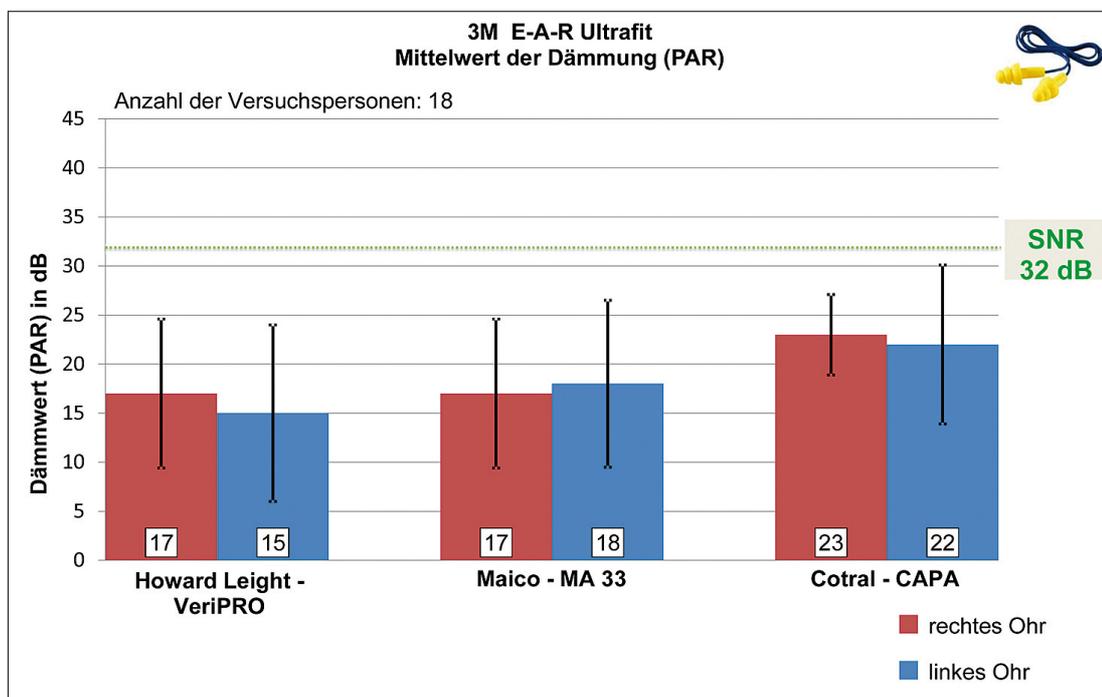


Bild 9 Vergleich der PAR-Dämmwerte für den Lamellen-Gehörschutzstöpsel 3M E-A-R Ultrafit (Mittelwerte und Standardabweichungen über 18 Probanden), gewonnen mit den Messsystemen VeriPRO, MA 33 und CAPA.

Vergleiche der Messwerte sind sowohl zwischen den drei Methoden möglich als auch zum Wert der Baumusterprüfung. Bild 8 und 10 zeigen für VeriPRO deutlich niedrigere Dämmwerte an. Für die Gehörschutz-Otoplastik und den Lamellenstöpsel stimmen MA 33 und CAPA gut überein, für den Schaumstoffstöpsel ergibt CAPA höhere Werte. Dies wird auch durch eine statistische Analyse mithilfe des t-Tests bestätigt. Dabei wurden die Ergebnisse von jeweils zwei Messsystemen als gepaarte Stichproben (Werte derselben Versuchspersonen) mit einem zweiseitigen t-Test überprüft. Auf einem Vertrauensniveau von 5 % wurde überprüft, ob die Mittelwerte der Grundgesamtheiten der beiden Stichproben identisch sind (Nullhypothese) oder nicht. Bei signifikanten Abweichungen (* oder ** in **Tabelle 1**) wird die Nullhypothese abgelehnt, d. h. dass sich die Ergebnisse der beiden Messsysteme voneinander unterscheiden. Wie in Tabelle 1 dargestellt, zeigt VeriPRO größere

Abweichungen zu MA 33 und CAPA als diese beiden audiometrischen Systeme untereinander.

Der SNR-Wert aus der Baumusterprüfung wird für die Gehörschutz-Otoplastik ungefähr getroffen, wenn man für die PAR-Werte Mittelwert minus Standardabweichung rechnet, was einen ähnlichen Ansatz darstellt wie für den SNR-Wert. Für den Schaumstoffstöpsel zeigen sich je nach Messsystem deutliche Abweichungen. Für den Lamellenstöpsel schließlich sind die individuellen Messsysteme untereinander sehr ähnlich (siehe Bild 9 und Tabelle 1), weichen aber stark (mindestens 10 dB) vom SNR-Wert ab.

Eine Analyse der Standardabweichungen der drei Messverfahren ergibt für jeden der drei Gehörschützer ein etwas anderes Bild. Für die Gehörschutz-Otoplastik und den Schaumstoffstöpsel sind die Werte für VeriPRO die jeweils größten. CAPA liefert für alle drei Produkte die niedrigsten Werte, für die Gehörschutz-Otoplastik und den Lamellenstöpsel aber nur auf dem rechten Ohr.

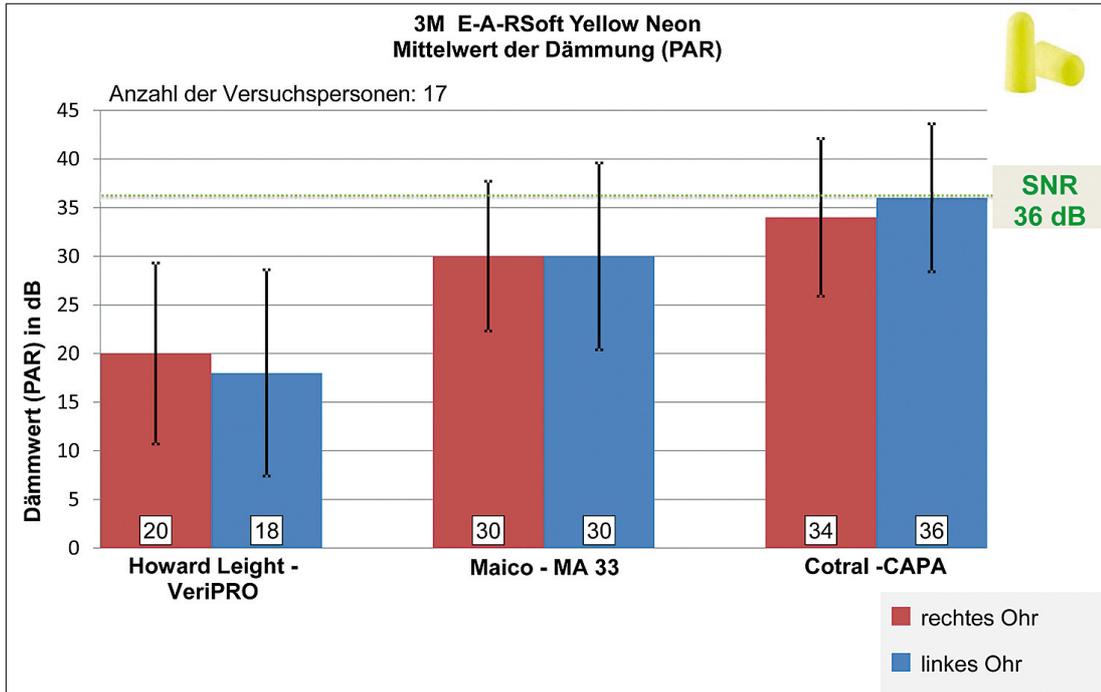


Bild 10 Vergleich der PAR-Dämmwerte für den Schaumstoff-Gehörschutzstöpsel 3M E-A-RSoft Yellow Neon (Mittelwerte und Standardabweichungen über 17 Probanden), gewonnen mit den Messsystemen VeriPRO, MA 33 und CAPA.

Methoden \ GS-Typ		Phonak Serenity Classic	3M E-A-R Ultrafit	3M E-A-RSoft Yellow Neon
VeriPRO – MA 33	rechts	*	–	**
	links	**	–	**
MA 33 – CAPA	rechts	–	–	*
	links	–	–	*
VeriPRO – CAPA	rechts	*	–	**
	links	**	–	**

Tabelle 1 Zusammenstellung der Ergebnisse der t-Tests für die Daten aus den Bildern 8 bis 10 (zweiseitiger t-Test mit gepaarten Stichproben, *: signifikant auf dem 5%-Niveau, **: signifikant auf dem 1%-Niveau).

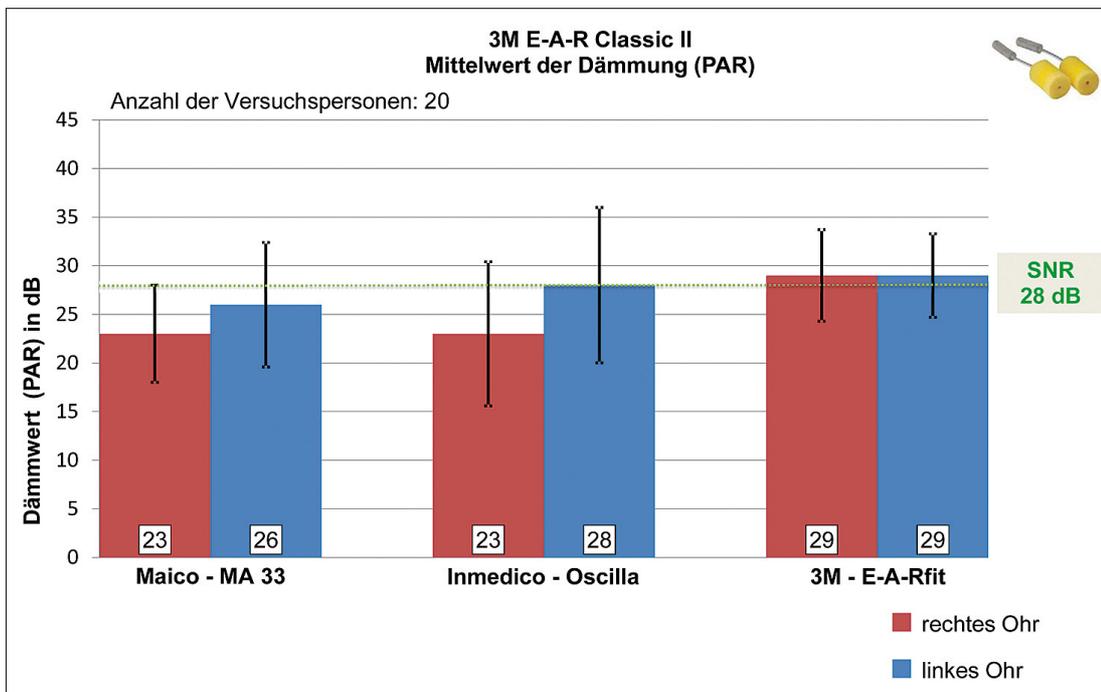


Bild 11 Vergleich der PAR-Dämmwerte für den Schaumstoff-Gehörschutzstöpsel 3M E-A-R Classic II (Mittelwerte und Standardabweichungen über 20 Probanden), gewonnen mit den Messsystemen MA 33, Oscilla und E-A-Rfit.

Für die zweite Studie sind die Ergebnisse in den **Bildern 11 und 12** zusammengefasst. Hier wurden zwei Schaumstoffstöpsel untersucht, einer mit mittlerer (3M E-A-R Classic II) und einer mit hoher Schalldämmung (3M E-A-RSoft FX). Für den Stöpsel mittlerer Dämmung

wurden die Baumsterdämmwerte für das E-A-Rfit-System annähernd erreicht. Die beiden Audiometer ergaben etwas niedrigere Werte mit einer Seitendifferenz, sodass der t-Test für das rechte Ohr höhere Signifikanzen für die Abweichung ergibt (siehe **Tabelle 2**).

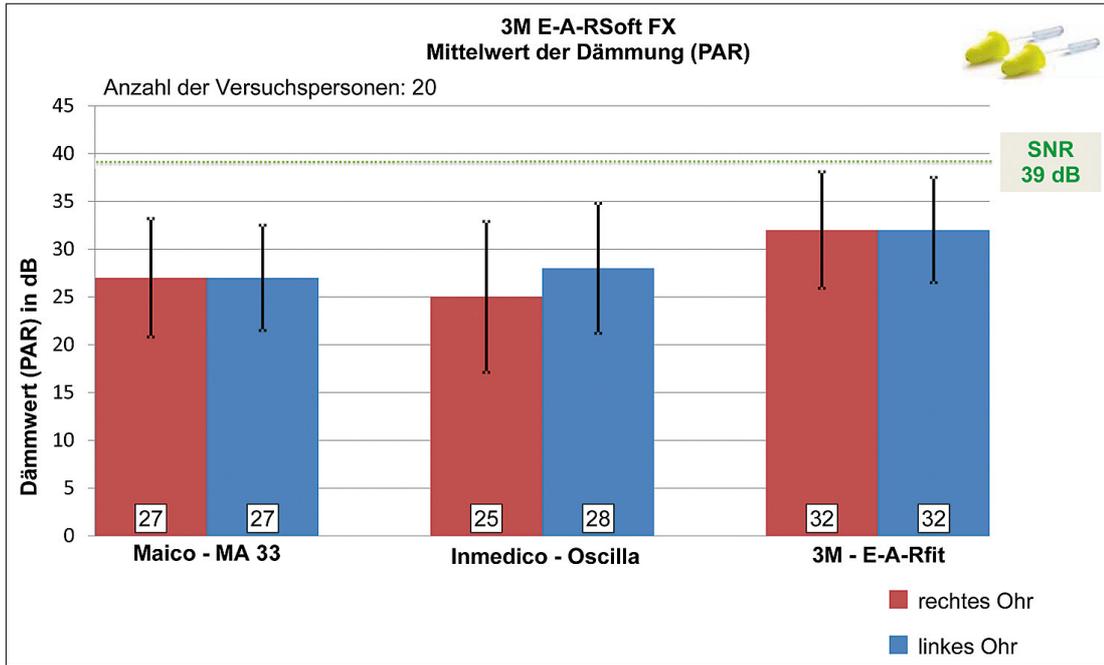


Bild 12 Vergleich der PAR-Dämmwerte für den Schaumstoff-Gehörschutzstöpsel 3M E-A-RSoft FX (Mittelwerte und Standardabweichungen über 17 Probanden), gewonnen mit den Messsystemen MA 33, Oscilla und E-A-Rfit.

Methoden \ GS-Typ		3M E-A-R Classic II	3M E-A-RSoft FX
MA 33 – Oscilla	rechts	–	–
	links	–	–
Oscilla – E-A-Rfit	rechts	*	**
	links	–	*
MA 33 – E-A-Rfit	rechts	**	**
	links	*	**

Tabelle 2 Zusammenstellung der Ergebnisse der t-Tests für die Daten aus den Bildern 11 und 12 (zweiseitiger t-Test mit gepaarten Stichproben, *: signifikant auf dem 5%-Niveau, **: signifikant auf dem 1%-Niveau).

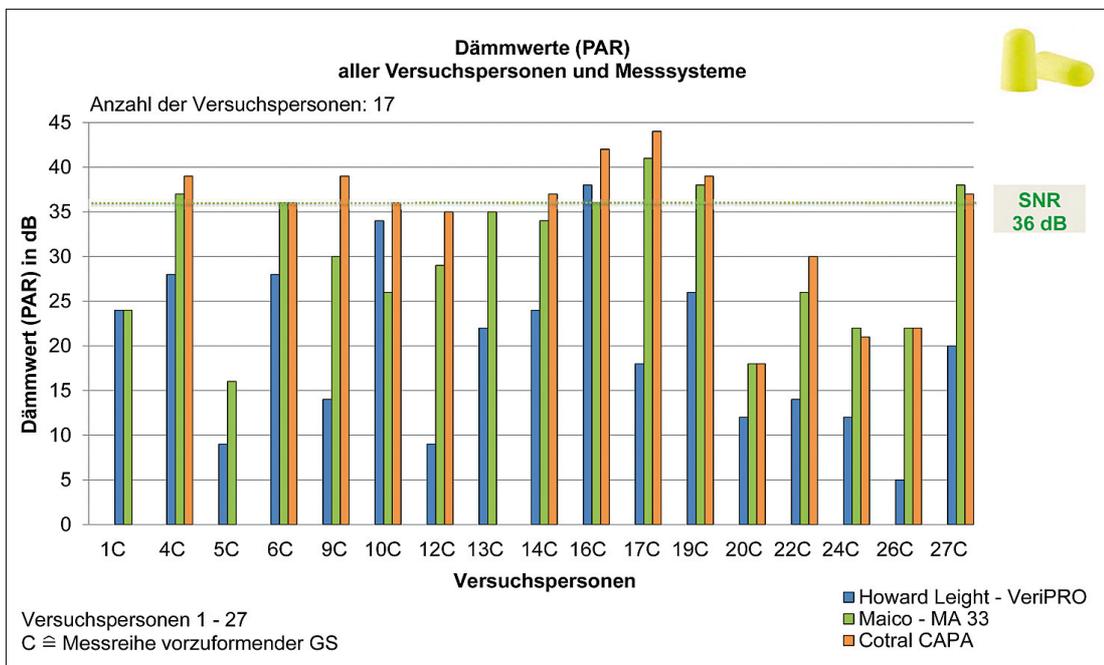


Bild 13 PAR-Werte für die einzelnen Versuchspersonen und die drei Messverfahren VeriPRO, MA 33 und CAPA (Mittelwerte und Standardabweichungen in Bild 10).

Für den hochdämmenden Stöpsel sind die Verhältnisse zwischen den Messmethoden ähnlich wie beim anderen Produkt: Die Audiometer ergeben etwas geringere Werte als das E-A-Rfit-System. Allerdings liegt in diesem Fall auch das E-A-Rfit-System deutlich unter dem SNR-Wert der Baumusterprüfung (7 dB im Mittelwert). Obwohl die Versuchspersonen angehalten waren, den Ge-

hörschutz so gut wie möglich einzusetzen, scheint die Testgruppe in der vorliegenden Arbeit durchweg niedrigere Dämmwerte zu erreichen als die Versuchspersonen in der Baumusterprüfung.

Betrachtet man die Standardabweichungen der drei Messsysteme, ergeben sich für MA 33 und E-A-Rfit jeweils relativ ähnliche Werte, während Oscilla 1 bis 2 dB höher liegt.

Zur Illustration der Variabilität zwischen den Messsystemen und den einzelnen Versuchspersonen sind in **Bild 13** alle Einzelergebnisse des PAR für den Schaumstoffstöpsel aus Bild 10 gezeigt. Deutlich zu erkennen ist, dass die erreichten Dämmwerte in einem relativ großen Bereich von 30 dB streuen. Bei einzelnen Versuchspersonen sind die Ergebnisse der drei Messsysteme untereinander ähnlich (z. B. 16C). Für viele Probanden liefern die beiden audiometrischen Verfahren (MA 33 und CAPA) ähnliche Messwerte, während die Ergebnisse von VeriPRO deutlich niedriger liegen, wie es auch der Mittelwert in Bild 10 zeigt.

Zur genaueren Analyse der Messwerte sind in **Bild 14** die Daten für die Gehörschutz-Otoplastik aus Bild 8 spektral über die gemessenen Oktavfrequenzen dargestellt. Mit VeriPRO ist nur der Frequenzbereich von 250 Hz bis 4 kHz zu messen, die anderen beiden audiometrischen Verfahren decken den Bereich von 125 Hz bis 8 kHz ab. Zusätzlich zu den gestrichelten individuellen Dämmwertverläufen sind der Mittelwert über die Versuchspersonen und der Mittelwert aus der Baumusterprüfung als Vergleich eingezeichnet.

Auch hier ist deutlich zu erkennen, dass VeriPRO meist niedrigere Werte liefert als die beiden anderen Systeme. Beim Vergleich zwischen den audiometrischen Methoden zeigt CAPA eine kleinere Streuung. Die Messung mit CAPA läuft automatisiert ab, wobei die Hörschwelle mehrmals nachgemessen wird. Die Messungen mit MA 33 wurden vom Versuchsleiter manuell mit einer Pegelschrittweite von 5 dB durchgeführt.

Für einen Vergleich der individuell ermittelten Dämmwerte mit den Baumusterprüfergebnissen über die einzelnen Prüffrequenzen hinweg eignet sich die Darstellung aus **Bild 15**. Die gestrichelte graue Linie ist der Mittelwert aus der Baumusterprüfung. Der hellgrüne Bereich umfasst Mittelwert $\pm 1 \times$ Standardabweichung, während der rosafarbene Bereich Mittelwert $\pm 2 \times$ Standardabweichung kennzeichnet. Der obere Rand des grünen Bereichs ist somit der APV-Wert, der für die Auswahl eines Gehörschützers nach der Schalldämmung verwendet wird (Oktavbandverfahren). Innerhalb des grünen Bereichs liegen (bei Normalverteilung der Messwerte) 68 % aller Daten. Im rosafarbenen Bereich sind es entsprechend ca. 95%. Liegt ein Messergebnis also außerhalb des rosafarbenen Bereichs, ist es nur noch mit geringer Wahrscheinlichkeit mit der Baumusterprüfung vereinbar.

Im Beispiel in Bild 15 sind Ergebnisse für den Lamellenstöpsel aus der ersten Studie zusammen mit einem Foto des eingesetzten Stöpsels im Ohr gezeigt. Der optische Eindruck lässt einen guten Sitz und daher eine hohe Dämmwirkung erwarten. Die Ergebnisse aller drei Messsysteme (farbige Kurven) signalisieren hier allerdings eine deutlich geringere Dämmwirkung als im Ergebnis der Baumusterprüfung angenommen wird.

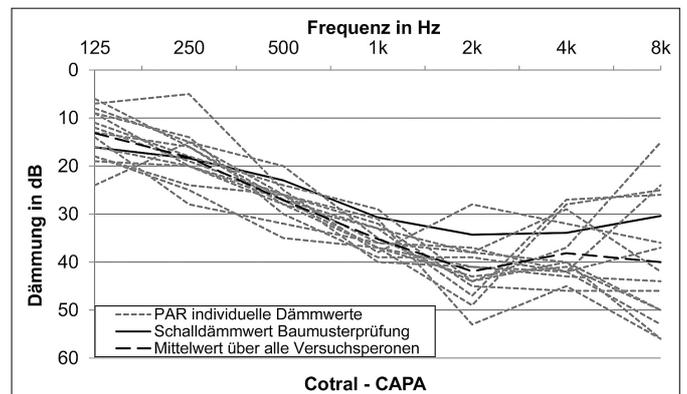
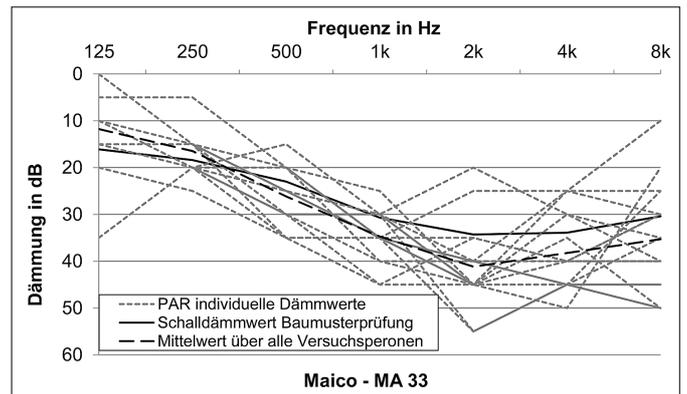
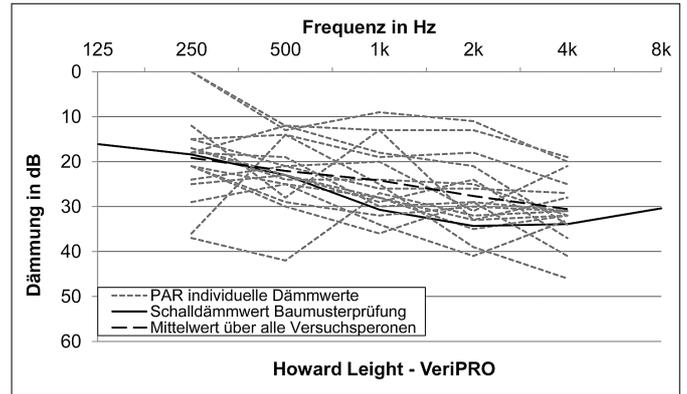


Bild 14 Individuelle Dämmwerte über die sieben Messfrequenzen für die Gehörschutz-Otoplastik aus Bild 8. Für jede der drei Messmethoden ist der Mittelwert über die individuellen Kurven (schwarz-gestrichelt) und der Mittelwert aus der Baumusterprüfung (schwarz) eingezeichnet.

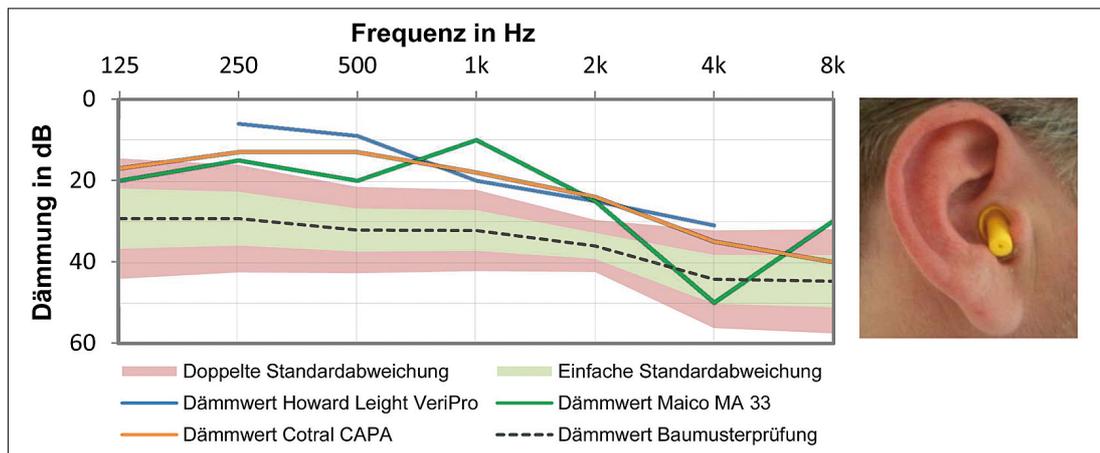


Bild 15 Vergleich der individuell ermittelten Dämmwerte für eine Versuchsperson (rechtes Ohr) mit den Werten der Baumusterprüfung im Frequenzbereich von 125 Hz bis 8 kHz für den 3M E-A-R Ultrafit. Die eingefärbten Bereiche umfassen Mittelwert $\pm 1 \times$ Standardabweichung (hellgrün) bzw. Mittelwert $\pm 2 \times$ Standardabweichung (rosa). Dabei liegen die individuell ermittelten Kurven bei niedrigeren Dämmwerten als die Baumusterprüfung.

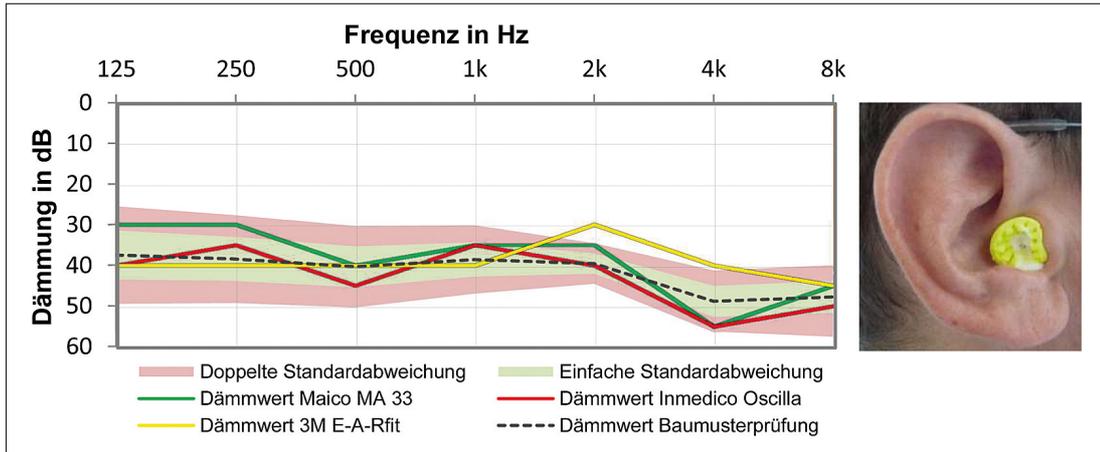


Bild 16 Vergleich der individuell ermittelten Dämmwerte für eine Versuchsperson (rechtes Ohr) mit den Werten der Baumusterprüfung im Frequenzbereich von 125 Hz bis 8 kHz für den 3M E-A-RSoft FX. Die eingefärbten Bereiche umfassen Mittelwert $\pm 1 \times$ Standardabweichung (hellgrün) bzw. Mittelwert $\pm 2 \times$ Standardabweichung (rosa). Dabei stimmen die individuell ermittelten Kurven gut mit den Werten der Baumusterprüfung überein.

Das Beispiel in **Bild 16** zeigt die Ergebnisse für den hochdämmenden Schaumstoffstöpsel aus der zweiten Studie. Hier liegen fast alle Datenpunkte der drei Messsysteme innerhalb des Wertebereichs Mittelwert $\pm 2 \times$ Standardabweichung aus der Baumusterprüfung. Dazu passend zeigt das Foto einen tief im Gehörgang sitzenden Stöpsel.

Diskussion

Die Ergebnisse der zwei Studien sind sehr umfangreich und können unter verschiedenen Blickwinkeln analysiert werden:

1. Wie gut ist die Reproduzierbarkeit eines Systems?

In den vorliegenden Studien wurden keine systematischen Wiederholungsmessungen durchgeführt. Aber der Vergleich verschiedener Messsysteme für eine Gruppe von Versuchspersonen (bei jeweils unverändertem Sitz des Gehörschützers) zeigt Unterschiede zwischen den Systemen auf. So liefert VeriPRO höhere Streuungen in den Dämmwerten als die audiometrischen Verfahren. CAPA, das die Hörschwelle mit einem automatisierten Verfahren ermittelt, ergibt noch etwas kleinere Streuungen als das Screening-Audiometer MA 33, das manuell mit einer Schrittweite von 5 dB gesteuert wurde.

Im Vergleich dazu ist die Streuung mit dem E-A-Rfit-System noch kleiner. Dieses war auch das einzige objektive Messsystem in der Studie. Für dieses System wurde die Reproduzierbarkeit in Laboruntersuchungen ermittelt [19].

2. Wie vergleichbar sind verschiedene Systeme zur individuellen Dämmwertbestimmung untereinander?

Im Studiendesign wurde versucht, die Randbedingungen zwischen den einzelnen Messungen mit einer Versuchsperson möglichst nicht zu verändern, d. h. die Messungen wurden unmittelbar nacheinander durchgeführt und der Sitz der Stöpsels nicht verändert. Allerdings ist bei vier der fünf untersuchten Systeme zu berücksichtigen, dass die Daten über die subjektive Hörempfindung der Versuchsperson ermittelt werden. Dies kann einen Teil der z. B. in Bild 8 gezeigten Differenzen für eine einzelne Versuchsperson erklären.

Berücksichtigt man die Messgenauigkeit der audiometrischen Verfahren, sind die meisten Abweichungen zwischen den Verfahren für eine Versuchsperson akzeptabel. Training und Gewöhnung an das Messverfahren sollte die Aussagekraft der Daten erhöhen. Für das System VeriPRO zeigen sich die stärksten Abweichungen zu den Ergebnissen der anderen Methoden, meist zu niedrigeren Dämmwerten hin. Diese Tendenz wurde auch schon von anderen Autoren festgestellt [17; 18]. An sich ist der bei VeriPRO verwendete Lautstärkeabgleich leicht nachzuvollziehen, durch die überschwelligeren Pegel robust in der Durchführung und damit für den

betrieblichen Einsatz geeignet. Der Lautstärkeabgleich ist jedoch offensichtlich schwerer zu reproduzieren als die Hörschwelle. Deshalb ist die Wahrscheinlichkeit für Messfehler relativ hoch.

3. Wie nahe liegen die Ergebnisse der individuellen Dämmwertbestimmung am Wert der Baumusterprüfung?

Ein möglicher Anwendungsfall für Systeme zur individuellen Dämmwertbestimmung ist der Vergleich mit den Ergebnissen der Baumusterprüfung, z. B. für die Funktionskontrolle von Gehörschutz-Otoplastiken. Dazu muss bekannt sein, wie genau die individuellen Messsysteme die Baumusterprüfwerke reproduzieren können. Nach der vorliegenden Studie ist diese Frage nur näherungsweise zu beantworten. Dazu müsste parallel zum individuellen Verfahren auch eine Bestimmung nach der Methode der Baumusterprüfung gemessen werden. Eine solche Untersuchung führt das IFA momentan durch. Dabei wird ein Audiometer mit dem Normverfahren für die Baumusterprüfung im diffusen Schallfeld verglichen.

Die in den Bildern 9 und 12 sichtbaren deutlichen Abweichungen aller gemessenen Systeme von der Baumusterprüfung könnten ihre Ursache in einem anderen Versuchspersonenkollektiv haben.

4. Wie aussagekräftig ist ein Einzahlkennwert wie der PAR?

Wie der SNR-Wert beschreibt der PAR das Dämmvermögen eines Gehörschützers für ein Rosa Rauschen. Dabei werden die Schalldämmwerte für alle Frequenzbänder berücksichtigt, allerdings tragen die tiefen Frequenzen auf Grund der A-Bewertung nur wenig zum Gesamtdämmwert bei. Insbesondere sind somit Leckagen, die in der spektralen Auftragung deutlich sichtbar sind, im Einzahlkennwert nur schwer nachzuweisen. Je nach Anwendungsfall (z. B. Funktionskontrolle von Gehörschutz-Otoplastiken) ist es somit empfehlenswert, speziell die tiefen Frequenzen zu betrachten. Zusätzlich ist zu bedenken, dass zur Berechnung des Restpegels am Ohr der C-bewertete Schalldruckpegel am Arbeitsplatz vorliegen muss, was meist nicht der Fall ist.

Ausblick: Wie lassen sich Systeme zur individuellen Dämmwertbestimmung in der Praxis einsetzen?

Für einen Einsatz von Systemen zur individuellen Dämmwertbestimmung in der betrieblichen Praxis ist es notwendig, dass die Ergebnisse leicht und schnell gewonnen und problemlos interpretiert werden können. Insbesondere wenn Betriebsärzte die Messungen im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge durchführen, sollten Hilfen zur Beurteilung der Ergebnisse verfügbar sein, die kein Spezialwissen zur Dämmwirkung von Gehörschutz erfordern.

Als Daten der Messsysteme liegen eine oder mehrere der folgenden Größen vor:

- Dämmwert bei einer Frequenz (Schnelltest, z. B. bei 500 Hz),
- Dämmwerte bei mehreren Oktavfrequenzen (im Bereich zwischen 125 Hz und 8 kHz),
- Einzahlkennwert (meist PAR auf der Basis des SNR-Werts).

Prinzipiell kann jede dieser drei Größen zur Beurteilung verwendet werden. Es ist aber notwendig, eine entsprechende Ziel- oder Vergleichsgröße zu definieren, die sich aus den Baumusterprüferten oder den Anforderungen am Arbeitsplatz ergibt. Für diese Größe sind dann Grenzwerte festzulegen, die für den jeweiligen Gehörschützer einzuhalten sind.

Falls mit Werten auf der Basis der Baumusterprüfung verglichen werden soll, ist das statistische Vertrauensniveau zu berücksichtigen. Die Werte, die normalerweise zur Auswahl von Gehörschutz verwendet werden, basieren auf einem Vertrauensniveau von 84% (Mittelwert - 1 x Standardabweichung). Das bedeutet, dass 16% der Versuchspersonen in der Baumusterprüfung geringere Dämmwerte erreicht haben. Bezieht man sich auf ein Vertrauensniveau von 98% (Mittelwert - 2 x Standardabweichung), werden nur echte Ausreißer identifiziert, die nicht mit der Baumusterprüfung in Einklang sind.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Frage, ob eine Messung bei nur einer Frequenz geeignet ist, die Schalldämmung des Gehörschützers ausreichend genau abzuschätzen. Dabei ist insbesondere noch zu klären, welche Frequenz für den Schnelltest geeignet und wie groß die mit dieser Messung erreichbare Sicherheit ist (insbesondere beim Einsatz der Gehörschützer bei hohen Schallpegeln).

Diese und weitere Themen für die praktische Umsetzung der individuellen Schalldämmungsmessung werden in einer zukünftigen Publikation in dieser Zeitschrift behandelt.

Fazit

Die individuelle Bestimmung des erreichten Schutzniveaus lässt eine optimale Gehörschutzauswahl zu, bietet Schutz gegenüber

nicht erkannter Unterprotektion und reduziert das Problem der Überprotektion. Unterprotektion hat in der Vergangenheit trotz Benutzung von Gehörschutz immer wieder zu einer fortschreitenden Hörschwellenverschiebung durch Lärm am Arbeitsplatz bis zur Entwicklung einer Lärmschwerhörigkeit geführt.

Die Möglichkeiten, die die individuelle Bestimmung der Schalldämmung bietet, wurden erkannt und führten dazu, dass in kurzer Zeit verschiedene Messsysteme entwickelt wurden. Nun steht die Aufgabe an, diese Systeme nicht nur zu systematisieren, sondern eine ausreichende Qualitätssicherung bei der Anwendung zu erreichen.

Dipl.-Ing. **Patrick Dyrba**, Dipl.-Ing. **Thomas Fritsch**, Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe, Mannheim. Dr. **Sandra Dantscher**, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. Dipl.-Phys. **Peter Sickert**, Fachbereich Persönliche Schutzausrüstungen der DGUV, Sachgebiet Gehörschutz, Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Nürnberg.

Danksagung

Die Autoren danken allen an der Studie Beteiligten, insbesondere den Probanden der Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe.

Literatur

- [1] Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für persönliche Schutzausrüstungen (89/686/EWG). ABl. EG Nr. L 399, S. 18. Zul. geänd. durch Verordnung Nr. 1025/2012 vom 25. Oktober 2012.
- [2] Richtlinie 2003/10/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Februar 2003 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm). ABl. EU Nr. L 42 vom 15. Februar 2003, S. 38-44.
- [3] 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.
- [4] DIN ISO 4869-1: Akustik – Gehörschützer – Subjektive Methode zur Messung der Schalldämmung. Berlin: Beuth Verlag 1991.
- [5] Normenreihe DIN EN 352: Gehörschützer – Allgemeine Anforderungen (Teile 1 bis 3) und Gehörschützer – Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfungen (Teile 4 bis 8).
- [6] *Berger, E. H.; Franks, J. R.; Lindgren, F.*: International review of field studies of hearing protector attenuation. In: *Axlesson, A.; Borchgrevink, H.; Hamernik, R. P.; Hellstrom, P.; Henderson, D.; Salvi, R. J.* (Hrsg.): Scientific basis of noise-

induced hearing loss, S. 361-377. New York: Thieme Verlag 1996.

[7] *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

[8] *Canetto, P.; Voix, J.*: Hearing protectors „real-world“ performance and the European Directive 2003/10/EC. JOSE 15 (2009) Nr. 2, S. 221-226.

[9] *Pfeiffer, B. H.; Kuhn, H.-D.; Specht, U.; Knipfer, C.*: Schalldämmung von Gehörschützern in der betrieblichen Praxis. BIA-Report 5/89. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA. Sankt Augustin 1989.

[10] *Kusy, A.; Arz, J. P.; Gozzo, J.*: Valeurs limites d'exposition au bruit et port de protecteurs individuels – Préconisation de l'INRS. Fiche pratique de sécurité, ED 133 (2. Aufl.). Hrsg.: Institute national de recherche et de sécurité (INRS). Paris 2012.

[11] OSHA: Guidelines for noise enforcement; Appendix A. CPL 02-02-035 (1983).

[12] NIOSH: Criteria for a recommended Standard – Occupational noise exposure, revised criteria. Publication No. 98-126.

[13] DGUV Regel 112-194: Benutzung von Gehörschutz.

Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Berlin 2011.

[14] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV Lärm). GMBI. Nr. 18-20 vom 23. März 2010.

[15] Präventionsleitlinie „Einsatz von Gehörschutz-Otoplastiken“. Hrsg.: Fachbereich Persönliche Schutzausrüstungen der DGUV. Sankt Augustin 2010.

[16] *Kotarbinska, E.; Rogowski, K.*: Badania indywidualnego tłumienia wkładek przeciashalasowych subiektywna method wyrownywania glosnosci. *Przeglad telekomunikacyjny* 83 (2010) Nr. 12.

[17] *Schulz, T. Y.*: Individual fit-testing of earplugs: A review of uses. *Noise and Health* 13 (2011) Nr. 51, S. 152-162.

[18] *Trompette, N.; Kusy, A.*: Testing of commercially available systems for hearing protector based on individual fit testing.

InterNoise 13, S. 1398-1407. Innsbruck, Österreich.

[19] *Berger, E. H.; Voix, J.; Kieper, R. W.*: Methods of developing and validating a field-MIRE approach for measuring hearing protector attenuation. E-A-R Technical Report 06-24/HP. Aearo Technologies, Indianapolis, IN 2007.

[20] *Murphy, W. J.*: Comparing personal attenuation ratings for hearing protector fit-test systems. The newsletter of the Council for Accreditation in Occupational Hearing Conservation. 25 (2013) Nr. 3.

[21] 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.

[22] DIN EN ISO 4869-2: Akustik – Gehörschützer – Teil 2: Abschätzung der beim Tragen von Gehörschützern wirksamen A-bewerteten Schalldruckpegel. Berlin: Beuth Verlag 1995.