

BGIA-Report 4/2009

Schalldämmung von Gehörschützern
in der betrieblichen Praxis
– Studie von 2005 bis 2007 –

Verfasser: Sandra Dantscher
BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung, Sankt Augustin

Peter Sickert
Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd, Nürnberg,
Sachgebiet „Gehörschutz“ im Fachausschuss
„Persönliche Schutzausrüstungen“ (FA PSA)

Martin Liedtke
BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung, Sankt Augustin

Redaktion: Zentralbereich des BGIA

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung
Alte Heerstr. 111, 53757 Sankt Augustin
Telefon: +49 / 02241 / 231 – 01
Fax: +49 / 02241 / 231 – 1333
Internet: www.dguv.de

ISBN: 978-3-88383-797-0

ISSN: 1869-3491

Schalldämmung von Gehörschützern in der betrieblichen Praxis

– Studie von 2005 bis 2007 –

Kurzfassung

Gehörschutz erreicht beim betrieblichen Einsatz oft eine geringere Schalldämmung als in der Baumusterprüfung. Dies ist aus internationalen Veröffentlichungen sowie einer früheren Studie des BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung bekannt. Daher initiierte der Arbeitskreis „Gehörschutz“ im Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstung“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) eine Untersuchung, um die in der Praxis tatsächlich erreichte Schalldämmung von Gehörschutz zu ermitteln. In Zusammenarbeit mit mehreren Berufsgenossenschaften wurde in verschiedenen Industriebereichen die Schalldämmung dort verwendeter Gehörschützer gemessen. Das Messverfahren war dem zur Baumusterprüfung im Labor nach DIN ISO 4869-1 so weit wie möglich nachgebildet. Für alle Produkte ergab sich in der Praxis im Mittel eine geringere Schalldämmung als in den Labormessungen. Am deutlichsten ist der Effekt für vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel mit einer mittleren Abweichung von 7,8 dB. Andere Stöpselvarianten weisen mit 5,0 dB und 4,5 dB geringere Unterschiede auf. Für Kapselgehörschützer ergibt sich eine Differenz von 3,0 dB, für individuell angepasste Otoplastiken ein Wert von 6,0 dB, falls bei der Auslieferung keine Funktionskontrolle durchgeführt wurde. Für Produkte mit Funktionskontrolle wurden keine Daten ermittelt. Um die Benutzung von Gehörschutz in der Praxis zu verbessern, sollten Beschäftigte bei Unterweisungen im Betrieb oder bei der arbeitsmedizinischen Vorsorge auf die erforderliche Sorgfalt beim Ein- und Aufsetzen von Gehörschutz hingewiesen werden. Dies gilt insbesondere, wenn vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel verwendet werden.

Sound attenuation of hearing protectors in use at work

– Study from 2005 to 2007 –

Abstract

Hearing protectors used at work often reduce noise levels less effectively than during type testing. This is known from international publications and from an earlier study by the BGIA, Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, DGUV). The Working Group "Hearing Protection" of the Expert Committee "Personal Protective Equipment" of the German Social Accident Insurance therefore initiated a study to determine the actual sound attenuation of hearing protectors used at workplaces. In cooperation with several institutions for statutory accident insurance and prevention, the sound attenuation of the hearing protectors used in various branches of industry was measured. The measuring method replicated as far as possible that used for type testing in the laboratory in accordance with DIN ISO 4869-1. On average, all of the products yielded lower sound attenuation in practice than in laboratory measurements. The effect is biggest with ear plugs that have to be shaped before use, with a mean deviation of 7.8 dB. Other types of plugs showed less difference, with values of 5.0 and 4.5 dB. For ear muffs the difference is 3.0 dB, and for custom-moulded ear-plugs a value of 6.0 dB is achieved if they are not checked prior to use to help ensure individual quality fit. No data were obtained for products that had been checked. To improve the use of hearing protection in the field, employees should receive instruction at work or during occupational medical check-ups that draws attention to the care required when inserting/fitting hearing protectors. This applies particularly in the case of ear plugs that have to be shaped before use.

Efficacité de protecteurs individuels contre le bruit dans la pratique

– Etude de 2005 à 2007 –

Résumé

D'après des publications internationales et une étude antérieure du BGIA (Institut pour la sécurité et santé du travail des organismes d'assurance et de prévention des risques professionnels), il ressort que, dans les conditions de port, l'atténuation acoustique réelle obtenue avec des protections auditives est souvent inférieure à celle obtenue lors de l'essai de type. C'est la raison pour laquelle le groupe de travail « Protections auditives » au sein de la commission technique « Équipement de protection individuelle » des caisses légales allemandes d'assurance accident (DGUV) est à l'origine d'une étude visant à déterminer l'efficacité réelle de protections auditives. L'atténuation acoustique obtenue avec des protecteurs individuels contre le bruit utilisés dans différents secteurs industriels a été mesurée en collaboration avec plusieurs caisses mutuelles d'assurance accident. La méthode de mesure était la plus analogue possible à celle mise en œuvre dans le cadre de l'essai de type selon DIN ISO 4869-1 réalisé au laboratoire. Pour tous les produits, l'atténuation moyenne mesurée dans la pratique était inférieure à celle mesurée au laboratoire. Ce phénomène est le plus prononcé dans le cas des bouchons d'oreilles formables avant usage, l'écart moyen mesuré étant de 7,8 dB. D'autres variantes de bouchons d'oreilles présentent des différences plus faibles (5,0 dB et 4,5 dB). Pour les protecteurs munis de « coquilles » (serre-têtes), la différence est de 3,0 dB et, pour les protections auditives sur mesure, de 6,0 dB si aucun contrôle fonctionnel n'a été réalisé lors de la livraison. Aucune mesure n'a été effectuée pour les produits ayant subi un contrôle fonctionnel. Afin d'améliorer l'efficacité des protections auditives dans la pratique, il faut, dans le cadre de formations dans l'entreprise ou de la prévention assurée par le médecin du travail, que l'attention des salariés soit attirée sur le fait que celles-ci doivent être mises en place avec soin. Ceci est valable, en particulier, pour les bouchons d'oreilles à modeler avant usage.

Insonorización de los protectores auditivos en la práctica empresarial

– Estudio desde 2005 hasta 2007 –

Resumen

Con frecuencia, la protección auditiva consigue una peor insonorización en su utilización en la empresa que en las pruebas de homologación. Esto es conocido a través de los informes internacionales así como gracias a un estudio anterior del BGIA – Instituto para la Protección Laboral del Seguro Obligatorio de Accidentes Alemán. Es por ello que el grupo de trabajo „Protección auditiva“ de la comisión de expertos „Equipamiento de protección“ del Seguro Obligatorio de Accidentes Alemán ha puesto en marcha un estudio con el cual determinar la insonorización que la protección auditiva alcanza efectivamente en la práctica. En colaboración con varias mutuas de seguro patronal, se ha medido la insonorización de las protecciones auditivas utilizadas en distintas ramas industriales. El procedimiento de medición se ha adaptado lo más posible al utilizado en las pruebas de homologación en laboratorio según DIN ISO 4869-1. En todos los productos, ha resultado que la insonorización media es menor que la de las mediciones de laboratorio. El efecto más claro se registra en los tapones de protección auditiva a los que hay que dar forma antes del uso, con una desviación media de 7,8 dB. Otros tipos de tapones registran menores desviaciones de 5,0 dB y 4,5 dB. En los auriculares antirruido, se da una desviación de 3,0 dB; en las piezas moldeadas auditivas adaptadas individualmente el valor es de 6,0 dB cuando el suministro no se somete a controles de funcionamiento. No se han obtenido datos para los productos con control de funcionamiento. A efectos de mejorar la protección auditiva en la práctica empresarial, el personal ha de ser advertido a través de las instrucciones impartidas en la empresa o en el marco de las medidas de prevención médico-sanitarias del necesario cuidado al utilizar y ponerse la protección auditiva. Lo que es especialmente importante cuando se utilizan tapones a los que hay que dar forma antes del uso.

Danksagung

Der Dank der Autoren gilt allen, die zum Gelingen dieses Projekts beigetragen haben. Im Einzelnen sind besonders zu nennen:

im BGIA

- *Markus Janssen* für den Umbau des Audiomobils, die Einweisung der Audiometristen der Berufsgenossenschaften, die Koordinierung des Datentransfers und den Aufbau einer Datenbank,
- *Petra Delfs, Christoph Knipfer* und *Stephan Schlimbach* für die Unterstützung bei den Vorbereitungen, z. B. Umbau des Audiomobils und Bestimmung der Korrekturwerte,

bei der Berufsgenossenschaft (BG) Metall Nord Süd

- *Klaus Ponto* für die Mitarbeit bei der Planung dieses Projekts und die Bereitstellung des Audiomobils,
- *Silke Hoffmann* für die Organisation und Begleitung eines großen Teils der Betriebsmessungen,

das Team der Audiometristen, insbesondere *Peter Christmann* (BG Metall Nord Süd) für die Durchführung der Betriebsmessungen,

die weiteren beteiligten Berufsgenossenschaften für die Organisation von Betriebsmessungen und deren Betreuung durch Audiometristen:

- Maschinenbau- und Metall-BG (Dr. *Gerhard Neugebauer* und *Bernhard Morys*),
- BG der keramischen und Glas-Industrie, jetzt VBG (*Hubert Meder*),
- BG der Bauwirtschaft (*Hans Fellberg*),

alle Betriebe, die sich bereit erklärt haben, an dem Projekt teilzunehmen für die Freistellung der Versuchspersonen; und insbesondere die Sicherheitsfachkräfte und Betriebsärzte für die organisatorische Hilfe bei der Durchführung der Schalldämmungsmessungen.

Inhalt

1	Einleitung	11
2	Ursachen für die reduzierte Schalldämmung in der Praxis	15
2.1	Kapselgehörschützer	15
2.2	Gehörschutzstöpsel	16
2.3	Bügelstöpsel	16
2.4	Otoplastiken	16
3	Methoden zur Berücksichtigung der reduzierten Praxisschalldämmung.....	19
4	Labormessung als Teil der Baumusterprüfung	21
5	Messung der Schalldämmung in den Betrieben	23
5.1	Messverfahren im Audiomobil.....	23
5.2	Ausstattung des Audiomobils.....	23
5.3	Vergleich zum Laborverfahren nach DIN ISO 4869-1	25
5.4	Fragebogen	26
5.5	Organisation und Ablauf der Messungen.....	27
6	Auswertung der Messergebnisse.....	29
6.1	Aufbau einer Datenbank	29
6.2	Aussortieren unplausibler Datensätze	29
6.3	Bestimmung von Korrekturwerten für das Schallfeld im Audiomobil.....	30
6.4	Zielgröße: Differenz des Mittelwertes der Schalldämmung bzw. des APV.....	34
6.5	Prüfung der Datensätze auf Normalverteilung	39
6.6	t-Test: Signifikanz der Abweichungen zwischen Labor und Audiomobil	40
6.7	Mittelung für einzelne Gehörschützertypen.....	41
6.8	Unsicherheitsbetrachtung	42
7	Ergebnisse und Diskussion.....	45
7.1	Zusammenstellung der Ergebnisse.....	45
7.1.1	Übersicht über die Datensätze – Gesamtergebnis.....	45
7.1.2	Differenzen der Schalldämmung nach Gehörschützertypen sortiert.....	47
7.1.3	Grafische Darstellung der Messwerte – Vergleich mit Laborwerten.....	52
7.1.4	Ergebnisse des Tests auf Normalverteilung	59

7.1.5	Ergebnisse des t-Tests	61
7.1.6	Allgemeine Diskussion	62
7.2	Vergleichbarkeit verschiedener Gehörschützer gleichen Typs	63
7.3	Einfluss des Gehörschützertyps auf die Schalldämmung in der Praxis	65
7.4	Sonderfall Otoplastiken: Notwendigkeit der Funktionskontrolle	66
7.5	Konsequenzen für die Gehörschützerauswahl	67
7.6	Konsequenzen für die Unterweisung zur Benutzung von Gehörschutz	70
7.7	Konsequenzen für die arbeitsmedizinische Vorsorge	71
8	Literaturverzeichnis	73
Anhang:		
	Grafische Darstellung der im Audiomobil gemessenen Rohdaten	75



1 Einleitung

Im März 2007 trat in Deutschland die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung in Kraft. Sie setzte die EG-Lärmrichtlinie 2003/10/EG in nationales Recht um. Von Bedeutung für den Einsatz von Gehörschutz ist dabei zum einen die Absenkung der Auslösewerte um 5 dB, ab denen Gehörschutz angeboten bzw. getragen werden muss. Zum anderen wurde eine neue Größe eingeführt, der maximal zulässige Expositionswert, der unter Berücksichtigung des Gehörschützers am Ohr des Beschäftigten eingehalten werden muss ([1] §8 (2)). Er beträgt für Dauerschall auf acht Stunden bezogen 85 dB(A) und für den Spitzenwert des Schalldruckpegels (Peak-Wert) 137 dB(C).

Zur Ermittlung dieses Wertes muss die dämmende Wirkung des Gehörschützers einbezogen werden, und zwar für jede Person und die individuelle Situation. Die Schalldämmung eines Gehörschützers wird bei der Baumusterprüfung im Labor bestimmt und vom Hersteller auf der Verpackung angegeben. Allerdings handelt es sich dabei um gemittelte Werte aus Messungen mit 16 Versuchspersonen, was keine Aussage über die im Einzelfall tatsächlich erreichte Schalldämmung erlaubt. Der Streuung der Messwerte zwischen den Probanden wird dadurch Rechnung getragen, dass nicht nur der Mittelwert der Messreihe angegeben wird, sondern auch der Wert der angenommenen Schutzwirkung (Assumed Protection Value, APV), der sich aus dem Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ergibt. Im statistischen Mittel wird diese Schalldämmung für 84 % der Benutzer erreicht oder überschritten.

Neben diesen Unterschieden in der Dämmung zwischen Versuchspersonen unter Laborbedingungen treten in der praktischen Anwendung noch größere Abweichungen auf. Bei der Baumusterprüfung achtet der Versuchsleiter darauf, dass die Probanden den Gehörschutz korrekt auf- oder einsetzen. Dies dient vor allem der Vergleichbarkeit der Schalldämmung von Produkten, deren Schutzwirkung mit verschiedenen Probandengruppen oder von verschiedenen Labors ermittelt wird. In dieser Messung wird also die unter optimalen Bedingungen mögliche Dämmung für jedes Produkt bestimmt. Da diese Sorgfalt beim Auf- oder Einsetzen im Betrieb meist nicht aufgewendet wird, ist für den Einsatz unter realistischen Bedingungen eine reduzierte Schalldämmung zu erwarten.



Verschiedene internationale Studien haben gezeigt, dass in der Praxis oft nur sehr geringe effektive Schalldämmwerte erreicht werden [2; 3]. Eines dieser Projekte führte 1989 das damalige BIA – Institut für Arbeitssicherheit [4]. Aufgrund der in dieser älteren Arbeit ermittelten Abweichungen zwischen den im Labor und den im Betrieb ermittelten Schalldämmwerten wurden Korrekturabschläge bestimmt. Diese Abschläge wurden nach Festlegung durch den Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstung (PSA)“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) bei der Auswahl von Gehörschutz berücksichtigt, z. B. in der BG-Regel 194 [5]. Das heißt, die vom Hersteller angegebene Schalldämmung (HML-Werte für hoch-, mittel- bzw. tieffrequente Geräusche) ist um diese Korrekturwerte zu verringern. Für Gehörschutzstöpsel betrug der Wert 9 dB, für Kapselgehörschützer 5 dB und für Otoplastiken 3 dB.

Andere Staaten erarbeiteten ebenfalls Methoden, um die reduzierte Schalldämmung in der Praxis bei der Auswahl von geeignetem Gehörschutz zu berücksichtigen (siehe Kapitel 3). Zum Beispiel kann man vom Mittelwert der Dämmung im Labor die doppelte Standardabweichung abziehen, um den Prozentsatz der Benutzer zu erhöhen, die diesen Wert tatsächlich erreichen. Alternativ zum Abzug eines festen Wertes, z. B. 9 dB für Stöpsel, ist es möglich, jeweils einen Bruchteil der Laborschalldämmung als Praxiswert zu verwenden, z. B. 50 % für Stöpsel.

Auslöser für die vorliegende Arbeit war die Frage, ob die in der ersten BIA-Studie bestimmten Werte für die Praxisabschläge immer noch Bestand haben, da einige der damals untersuchten Produkte nicht mehr auf dem Markt sind. Gerade im Hinblick auf den neu eingeführten maximal zulässigen Expositionswert erschien eine Überprüfung der Abschläge sinnvoll. Des Weiteren wurden in der ersten Studie keine Otoplastiken untersucht, da diese Produkte damals noch neu waren, mittlerweile aber immer stärkere Verbreitung finden. Aus diesen Gründen hat der Fachausschuss PSA dem BGIA die Untersuchung der Schalldämmung von Gehörschützern in der Praxis empfohlen. Dies ist im internationalen Vergleich die erste Studie zu diesem Thema, die von derselben Institution unter vergleichbaren Bedingungen wiederholt wurde.

Das Projekt fand in Zusammenarbeit mit der Berufsgenossenschaft (BG) Metall Nord Süd statt, unterstützt wurde es von der



-
- Maschinenbau- und Metall-BG,
 - BG der Bauwirtschaft und
 - BG der keramischen und Glas-Industrie.

Dabei wurden in einem Zeitraum von zwei Jahren über 800 Datensätze zu mehr als 20 verschiedenen Gehörschützern gewonnen. Die Messungen fanden in einem Audiomobil der BG Metall Nord Süd, das im BGIA umgebaut worden war, direkt in den Betrieben statt. Bei der Auswertung wird zwischen Kapselgehörschützern und Gehörschutzstöpseln unterschieden, wobei die Stöpsel weiter unterteilt werden in vor Gebrauch zu formende, fertig geformte, Bügelstöpsel und Otoplastiken.



2 Ursachen für die reduzierte Schalldämmung in der Praxis

Entsprechend der PSA-Richtlinie 89/686/EWG muss für Gehörschutz vor dessen Inverkehrbringen eine unabhängige dritte Stelle (sogenannte Notifizierte Stelle) die Einhaltung der grundlegenden Sicherheitsanforderungen prüfen. Der Hersteller muss die dabei ermittelten akustischen Eigenschaften (Schalldämmwerte) auf der kleinsten Handlungspackung angeben. Diese Dämmwerte verwendet man, um die Einhaltung der maximal zulässigen Expositionswerte zu überprüfen und den für die jeweilige Lärmsituation geeigneten Gehörschutz auszuwählen.

Diese den Gehörschutz charakterisierende Schalldämmung erreicht man jedoch in der Praxis im Allgemeinen nicht. Vielmehr liegt die tatsächliche Schalldämmung je nach Gehörschutztyp, Verhalten des Benutzers und anderen objektiven Faktoren meist wesentlich niedriger.

Für die einzelnen Gehörschutztypen ergeben sich folgende Hauptursachen für eine in der Praxis von der Baumusterprüfung abweichende Schalldämmung:

2.1 Kapselgehörschützer

- Der Bügel ist gealtert.
- Die Dichtungskissen sind veraltet oder beschädigt.
- Der Benutzer hat sehr dichtes Kopfhaar.
- Der Benutzer trägt Ohringe.
- Der Benutzer trägt eine Brille oder Schutzbrille (insbesondere mit dicken Bügeln).
- Neben dem Einsatz eines Kapselgehörschützers ist der einer Atemschutzmaske erforderlich.
- Die Kapseln (rechts/links oder oben/unten bei spezifischer Konstruktion) werden vertauscht.
- Der Benutzer trägt den Kopfbügel nicht über dem Kopf, sondern im Nacken oder unter dem Kinn.



- Die Dichtungskissen sind durch Lagerung eingedrückt.
- Bei der Kombination Schutzhelm/Kapselgehörschutz wird ein ungeeigneter Arbeitsschutzhelm verwendet.

2.2 Gehörschutzstöpsel

- Der Stöpsel füllt den Gehörgang nicht aus; die Größe ist falsch gewählt.
- Der Gehörgang ist so schmal, dass sich der Stöpsel nicht bis zu einer festen Sitzposition schieben lässt.
- Der Gehörgang ist stark gekrümmt.
- Die Stöpsel sind zu kalt oder zu alt, d. h. nicht elastisch genug, und passen sich dem Gehörgang nicht vollständig an.
- Die Stöpsel dehnen sich beim Einsetzen zu schnell aus.
- Der Benutzer fixiert die Stöpsel nach dem Einsetzen nicht lange genug mit dem Finger im Gehörgang, bis sie sich komplett ausgedehnt haben.
- Manche Lamellenstöpsel besitzen nur zwei Lamellen, die den Gehörgang nicht für jede Gehörgangsform sicher abdichten. Probleme treten vor allem bei stark elliptischen Gehörgangsquerschnitten auf.

2.3 Bügelstöpsel

- Die Stöpsel sitzen nur mit leichter Andrückkraft auf dem Gehörgang.
- Kugelstöpsel rutschen heraus, da der Bügel zu weit ist.
- Die Bügeldruckrichtung ist nicht rechtwinklig zur Auflagefläche am Ohr.
- Der Bügel hat sich durch Lagerung verzogen.

2.4 Otoplastiken

- Nach einer Benutzungsdauer von einem oder mehreren Jahren hat sich der Gehörgang geweitet.
- Das neue Produkt weist eine Leckage auf [6].



- Ein Leckagetest wurde nicht durchgeführt.
- Fehlende Kennung und kurzes Ansatzstück führen zu Rechts/links-Verwechslung.
- Der Druck auf die Gehörgangshaut verdrängt die Flüssigkeit im Gewebe.
- Kopfbewegungen, Kauen o. Ä. verursachen zusätzliche Leckagen.

Besondere Probleme bereiten dabei Gehörschutzstöpsel, insbesondere die Produkte, die vor Gebrauch zu formen sind. Werden sie nicht richtig gerollt und damit komprimiert, können sie nicht weit genug in den Gehörgang eingeführt werden und rutschen evtl. ganz oder teilweise wieder heraus, sodass die Schalldämmung aus der Baumusterprüfung nicht erreicht wird.

Ein wesentlicher Einflussfaktor ist auch die erforderliche Zeit zur Ausdehnung der zu formenden Gehörschutzstöpsel im Gehörgang, d. h. die Dauer, bis der Gehörschutzstöpsel eine stabile Position und einen schalldichten Sitz eingenommen hat. Diese beträgt je nach Produkt zwischen 30 Sekunden und zwei Minuten. Fixiert man die Stöpsel nicht ausreichend lang im Gehörgang, können sie durch die Ausdehnung des Materials teilweise wieder herausrutschen.

Bei Stöpseln aus Polyvinylchlorid (PVC) ist die Ausdehnzeit stark von der Umgebungstemperatur abhängig. Dadurch kann es bei niedrigen Temperaturen zu Zeitverzögerungen beim Einsetzen kommen. Andererseits dehnen sich Stöpsel aus Polyurethan (PU) manchmal sehr schnell aus und ihr Einsetzen erfordert – besonders bei engen Gehörgängen – viel Übung.

Zeitweiliges Nichtbenutzen, z. B. wegen Kommunikationsproblemen beim Telefonieren oder auch bei Gesprächen in Arbeitsbereichen mit einem Geräuschpegel von ≥ 80 dB(A), reduziert die effektive Schalldämmung in der Praxis zusätzlich.

3 Methoden zur Berücksichtigung der reduzierten Praxisschalldämmung

Um der in verschiedenen Studien nachgewiesenen Reduzierung der Schalldämmung in der Praxis Rechnung zu tragen, wird weltweit eine Reihe unterschiedlicher Ansätze verwendet. Da es auch auf europäischer Ebene (z. B. Lärm-Richtlinie 2003/10/EG) keine verbindlichen Vorgaben gibt, steht es jedem Staat frei, ob und wie er die Laborwerte der Schalldämmung für die Auswahl und den Einsatz von Gehörschutz durch Korrekturwerte modifiziert.

Die hier vorgestellte Übersicht basiert auf einer Umfrage des Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) aus dem Jahr 2007 [7] bei Gehörschutzexperten in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union (EU) und einigen weiteren Staaten (Schweiz, Kanada, USA und Australien). Die einzelnen Rückmeldungen sind im Folgenden, nach den verschiedenen Methoden sortiert, kurz zusammengefasst. Aus Dänemark und Österreich erhielt das INRS keine Antwort auf seine Anfrage.

Die meisten Staaten verwenden die Laborwerte der Schalldämmung unkorrigiert auch für den Praxiseinsatz. Dazu gehören Schweden, Spanien, die Slowakei, Finnland und Australien.

Einige Staaten verwenden feste Abschläge (in dB) von der Laborschallldämmung. Das bedeutet, dass die durch fehlerhafte Benutzung durchgelassene Schallenergie für jedes Produkt um denselben Faktor erhöht wird – unabhängig von der jeweiligen Laborschallldämmung, z. B. entspricht ein Korrekturwert von 3 dB einer Verdopplung der auf das Ohr wirkenden Schallenergie. Zu diesen Staaten gehören Großbritannien, das die Dämmwerte für alle Gehörschützertypen um 4 dB reduziert, sowie Deutschland und die Schweiz, wo die Abschläge vom Typ des Gehörschützers abhängen. So verwendeten diese beiden Staaten zum Zeitpunkt der INRS-Umfrage die Werte aus der ersten Studie des BGIA [4], nämlich 9 dB für Gehörschutzstöpsel und 5 dB für Kapselgehörschützer. Weiterhin wurde in Deutschland noch ein Korrekturwert von 3 dB für Otoplastiken berücksichtigt.

Ein anderes Verfahren, das die USA [8] und Kanada anwenden und in Italien geplant ist, reduziert die Schalldämmung in dB jedes Produkts um einen bestimmten

Prozentwert. Dabei ist der Bezugswert zwischen Europa (SNR – single number rating) und den USA/Kanada (NRR – noise reduction rating) unterschiedlich. Als resultierende Dämmwerte werden angenommen: 0,5 x SNR bzw. 0,5 x NRR für Gehörschutzstöpsel, 0,75 x SNR bzw. 0,75 x NRR für Kapselgehörschützer und 0,3 x SNR bzw. 0,3 x NRR für Otoplastiken.

Da die beiden bisher diskutierten Methoden die Eigenschaften des einzelnen Produkts nicht berücksichtigen, wird als Alternative in Italien und Portugal der Vertrauensbereich für die Schalldämmung vergrößert. Dazu werden die Kenngrößen für die Dämmung (APV, HML-Werte oder SNR) nicht mit einer Sicherheit von einer Standardabweichung berechnet, sondern mit zwei oder drei, sodass sich der Anteil der Benutzer, die den angegebenen Wert der Dämmung erreichen oder überschreiten, von 84 % auf 97,7 bzw. 99,9 % erhöht. Weist nun ein Gehörschützer aus den Labormessungen eine große Standardabweichung auf, führt diese zu einer stärkeren Reduzierung der Schalldämmung für den Praxisfall.

Frankreich setzt seit Kurzem eine Kombination dieser Verfahren um [9]. Dabei werden vom Mittelwert der Laborschalldämmung die doppelte Standardabweichung und zusätzlich typabhängige Abschläge abgezogen: für Kapselgehörschützer 5 dB, für am Helm befestigte Kapselgehörschützer 7 dB, für Gehörschutzstöpsel 10 dB und für Otoplastiken 5 dB.

Das letzte hier vorgestellte Verfahren ist in den USA gebräuchlich und in einer ANSI¹-Norm festgelegt. Dabei wird die Baumusterprüfung nicht mit geübten Versuchspersonen durchgeführt, die Gehörschützer unter Aufsicht des Versuchsleiters einsetzen, sondern mit unerfahrenen Personen. Sie sind nicht mit dem Messverfahren vertraut und erhalten nur die Benutzerinformationen zu dem jeweiligen Produkt. Die Idee hinter dem Verfahren ist, dass diese Personen die Gehörschützer ähnlich fehlerhaft einsetzen wie Nutzer in der Praxis. Wie erwartet führt diese Methode zu geringeren Mittelwerten der Schalldämmung und größeren Streuungen. Die unter optimalen Bedingungen erreichbaren Produkteigenschaften werden nicht ermittelt. In Quebec ist geplant, das Verfahren zu übernehmen.

¹ ANSI = American National Standard Institute



4 Labormessung als Teil der Baumusterprüfung

Im Rahmen der vorgeschriebenen Baumusterprüfung ermittelt eine unabhängige Notifizierte Stelle für Gehörschützer auch die Schalldämmung des Produkts. Dabei wird ein subjektives Verfahren mit Versuchspersonen angewendet, das auf der Norm DIN ISO 4869-1 [10] basiert. Grundlage für die Ermittlung der Schalldämmung ist die Bestimmung der Hörschwelle eines Probanden, einmal mit und einmal ohne Gehörschützer. Die Differenz dieser beiden Schwellen ergibt die Reduzierung eines Geräusches durch den Gehörschützer für die jeweilige Prüffrequenz. Im Folgenden werden der im BGIA verwendete Prüfaufbau und -ablauf beschrieben.

Als Prüfsignal wird terzbandbreites Rauschen bei den Oktavmittenfrequenzen von 63 Hz (nicht zwingend vorgeschrieben), 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz und 8 kHz verwendet, das von einem Prüfsignalgenerator abgespielt wird. Ein Pegelteiler kann das Signal automatisch schrittweise verändern. Die Prüfnorm verlangt im Bereich des Kopfes der Versuchsperson ein diffuses Schallfeld. Dies wird durch vier Lautsprecher erzeugt, die in einem Semischallschluckraum tetraedrisch um den Sitzplatz des Probanden angeordnet sind. Das erste Prüfsignal ist das bei 1 kHz, da es am leichtesten wahrzunehmen ist. Danach folgen die Frequenzen bis 8 kHz aufsteigend und anschließend die Geräusche von 500 Hz abfallend bis 63 Hz.

Die Hörschwelle wird durch ein rechnergesteuertes Eingabelungsverfahren bestimmt, bei dem der Schallpegel so lange schrittweise erhöht wird, bis der Proband das Signal wahrnimmt. Dies bestätigt er durch Drücken und Gedrückthalten einer Taste, was wiederum eine schrittweise Verringerung des Pegels bewirkt, bis der Proband das Signal nicht mehr hört und die Taste loslässt. Dabei reduziert sich die vom Steuerprogramm vorgegebene Schrittweite von zunächst 8 dB über 3 dB und 2 dB auf 1 dB, sodass die Hörschwelle immer genauer eingegrenzt werden kann.

Kontrollmechanismen im Programm überprüfen während der Messung, ob der Pegelverlauf, den die Versuchsperson angibt, plausibel ist. Umkehrpunkte, die zweifelhaft sind, werden nicht berücksichtigt. So dürfen die oberen und unteren Umkehrpunkte nicht mehr als 10 dB auseinander liegen. Außerdem werden obere Umkehrpunkte, die unterhalb einer unteren Schwelle liegen, verworfen. Dauert eine Messung bei



einer Frequenz zu lang, unterbricht das Programm und der Versuchsleiter kann die Testperson ggf. noch einmal instruieren. Ansonsten ist während des Programmablaufs kein Eingreifen von außen möglich.

Bei jeder Hörschwellenmessung und Prüffrequenz wird die Hörschwelle viermal eingegabelt und die entsprechenden Signalpegel beim Drücken der Probandentaste (d. h. „Signal gehört“) bzw. beim Loslassen der Taste (d. h. „Signal nicht mehr gehört“) abgelesen. Der arithmetische Mittelwert dieser acht Pegel wird als jeweiliger Hörschwellenpegel abgespeichert.



5 Messung der Schalldämmung in den Betrieben

Das experimentelle Vorgehen bei dem vorliegenden Projekt ist eng an die erste Studie zu dem Thema aus dem Jahr 1989 [4] angelehnt. Ziel war die Bestimmung der Schalldämmung eines Gehörschützers unter realistischen Bedingungen direkt im Betrieb. Gleichzeitig sollten die so gewonnenen Daten mit den im Zuge der Baumusterprüfung bestimmten vergleichbar sein.

5.1 Messverfahren im Audiomobil

Analog zu dem in Kapitel 4 beschriebenen Verfahren wurde auch im Audiomobil die Hörschwelle von Probanden mit und ohne Gehörschutz bestimmt. Die Differenz dieser beiden Schwellen ergibt die Schalldämmung des jeweiligen Gehörschützers. Messverfahren und Versuchsaufbau (Steuerprogramm, Prüfsignalgenerator) waren soweit möglich identisch zu dem bei der Baumusterprüfung im Labor verwendeten.

Aufgrund technischer Einschränkungen (siehe Abschnitte 5.2 und 5.3) konnten als Prüfsignale nur terzbandbreites Rauschen bei den Oktavmittenfrequenzen 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz und 4 kHz verwendet werden. Auch bei dieser Variante begann die Messung mit 1 kHz, gefolgt von den hohen Frequenzen und abschließend den beiden tieffrequenten Geräuschen. Da die Probanden mit dem Messverfahren nicht vertraut waren, fand vor Beginn der eigentlichen Messung ein Probedurchgang bei 1 kHz statt. Der weitere Ablauf des Programms mit den Plausibilitätsprüfungen während der Messung war identisch mit dem der Baumusterprüfung.

5.2 Ausstattung des Audiomobils

Der Messaufbau wurde im Herbst 2005 in ein Fahrzeug der Berufsgenossenschaft Metall Süd (heute: BG Metall Nord Süd) eingebaut. Dabei handelte es sich um ein Audiomobil mit zwei Prüfkabinen, von denen eine für die Untersuchung von Gehörschützern umgebaut wurde (Abbildung 1, Seite 24).

Die verschiedenen Teile des Audiomobils sind unterschiedlich stark gegen Umgebungsschall isoliert. Der Warte- und Steuerraum ist weniger gedämmt als die Kabinen, die während der eigentlichen Messung zusätzlich durch eine Schiebetür vom Rest des Fahrzeugs getrennt werden können. Die Schalldämmung der Prüfkabinen



ist auf die Vorsorge-Audiometrie (Luftleitungsmessung mit Kopfhörern) ausgelegt, sodass die strengeren Anforderungen an die Störschallpegel, die für die Gehörschützerprüfung im Labor gelten, nicht erfüllt wurden.

Abbildung 1:
Innenansicht des Audiomobils, vorne der Steuerraum, dahinter die beiden Audiometrie-Prüfkabinen. Die rechte wurde für die Schalldämmungsmessungen mit Lautsprechern ausgestattet.



Der Computer, der den Ablauf der Messung kontrollierte, wurde im Steuerraum aufgestellt, während die Geräte zur Erzeugung des Prüfsignals im Vorraum vor den Prüfkabinen installiert wurden. Außerdem wurden in der Prüfkabine Lautsprecher zur Erzeugung des Schallfeldes angebracht. Idealerweise sollte das Schallfeld im Kopfbereich des Versuchsperson diffus sein, wie es die Prüfnorm für Gehörschützer DIN ISO 4869-1 [10] vorschreibt, was aber in dem kleinen Raum mit einer Grundfläche von ca. 1 m² schwer zu erreichen ist. Als Kompromiss wählte man eine symmetrische Anordnung, bei der eine Leiste mit vier senkrecht übereinander angeordneten Lautsprechern in einer Ecke angebracht wurde (Abbildung 2). Die Probanden mussten sich für die Messung mit Blick auf die Lautsprecher in die gegenüberliegende Raumecke setzen. Durch die Positionierung der Lautsprecher sowie die schallharte Auskleidung der Kabine wurde ein akzeptables Schallfeld erreicht. Für tiefe Frequenzen (hier:



250 Hz) war ein zusätzlicher Basslautsprecher nötig, der unter der Sitzbank aufgestellt wurde, da in diesem Frequenzbereich keine starke Richtungsabhängigkeit vorliegt.

Abbildung 2:

Blick in die umgebaute Audiometrikabine; die Versuchsperson nahm mit Blick auf die Lautsprecherleiste Platz (siehe Pfeil am Boden). Der Basslautsprecher befindet sich unter der Sitzbank.



5.3 Vergleich zum Laborverfahren nach DIN ISO 4869-1

Durch die geometrischen und akustischen Einschränkungen im Audiomobil lassen sich Abweichungen vom Laborverfahren nicht vermeiden: Die wichtigsten Punkte sind die Charakteristik des Schallfeldes, Störgeräusche von außen und die mangelnde Erfahrung der Versuchspersonen mit dem Messverfahren.

Wie schon im Abschnitt 5.2 beschrieben war es nicht möglich, in der Audiomobilkabine ein der Norm entsprechendes diffuses Schallfeld zu erzeugen. Da die „offene“ Hörschwelle (Hörschwelle ohne Gehörschutz) auch von der Einfallsrichtung des Schalls abhängt, ist generell ein Einfluss des Schallfeldes auf die gemessene Dämmung zu erwarten. Inwieweit dies auch beim Tragen von Gehörschutz gilt, wurde durch Vergleichsmessungen mit einem Typ Gehörschutzstöpsel untersucht (siehe Abschnitt 6.3, Seite 30).



Störgeräusche von außen – und in deutlich geringerem Maße auch aus dem Steuer-
raum – ließen sich bei vielen Messungen nicht vermeiden. Die wichtigsten Lärm-
quellen waren innerbetrieblicher Verkehr, z. B. Stapler, Gespräche in der Nähe des
Audiomobils sowie Regen. Auch Unterhaltungen oder Umherlaufen von Personen im
Steuerraum ließen sich in der Prüfkabine wahrnehmen, sodass die Versuchsperson
leicht abgelenkt werden konnte. Den größten Effekt haben Störgeräusche bei der
Bestimmung der „offenen“ Hörschwelle, da sie diese Hörschwelle zu höheren Pegeln
verschieben. Beim Tragen von Gehörschutz dagegen ist der Einfluss geringer, sodass
sich die Schalldämmung – als Differenz der beiden Hörschwellen – verringert.

Als weiterer Unterschied zur Labormessung unter definierten Bedingungen kommt
die Unerfahrenheit der Versuchspersonen mit dem Ablauf der Prüfung hinzu. Das
Eingabeln der Hörschwelle erfordert meist einige Erfahrung, daher wurde vor Beginn
der eigentlichen Messung ein Probedurchgang bei einer Frequenz von 1 kHz absol-
viert. Dennoch sind die Ergebnisse mit größeren Unsicherheiten behaftet als die
Laborwerte. Besonders die ersten Frequenzen der Hörschwelle mit Gehörschützer
könnten unzuverlässig sein. Auch dieser Einfluss des Personenkollektivs auf die
Schalldämmung wurde in Vergleichsmessungen (siehe Abschnitt 6.3) untersucht.

Als letzter Punkt soll hier die körperliche Eignung der Versuchspersonen angeführt
werden. Die Prüfnorm legt fest, dass die Personen otologisch gesund sein müssen
und nur geringe Abweichungen von der Bezugshörschwelle vorliegen dürfen. Diese
Voraussetzungen waren während der Feldstudie natürlich nicht notwendigerweise
gegeben und konnten auch nicht überprüft werden. Gerade bei lärmexponierten
Personen können Hörverluste oder Störungen, wie z. B. Tinnitus, vorliegen.

5.4 Fragebogen

Zu jedem Probanden wurde ein zweiteiliger Fragebogen ausgefüllt. Im ersten Teil
wurden der Versuchsperson Fragen – u. a. zum Hörvermögen und Gehörschützer –
gestellt, den zweiten Teil füllte der Versuchsleiter im Verlauf der Messung aus. Dabei
achtete er vor allem auf Störlärm und Unsicherheiten der Versuchsperson beim Ein-
gabeln der Hörschwelle, um zweifelhafte Daten bei der Auswertung identifizieren zu
können.



5.5 Organisation und Ablauf der Messungen

Alle Messungen wurden von den vier am Projekt beteiligten Berufsgenossenschaften organisiert und durchgeführt. Die meisten Messungen organisierten Mitarbeiter und Audiometristen der BG Metall Nord Süd. Im Vorfeld mussten Mitgliedsbetriebe ausgewählt werden, die bereit waren, am Projekt teilzunehmen. Da die Messungen während der Arbeitszeit stattfinden mussten und nicht die turnusmäßigen Vorsorgeuntersuchungen für Lärmarbeitsplätze ersetzen konnten, mussten die Verantwortlichen in den Betrieben zur Mitarbeit motiviert werden. Ein Anreiz war dabei, nach Ablauf des Projekts Informationen über das Trageverhalten von Gehörschutz in der Praxis zu erhalten.

Bei der Auswahl versuchte man, Betriebe mit möglichst großen Gruppen von Beschäftigten zu finden, die den gleichen Gehörschutz verwenden, da nur ausreichend große Stichproben aussagekräftig sind. Für manche Gehörschützertypen (Otoplastiken und Kapselgehörschützer), für die zuerst nur wenige Datensätze gewonnen werden konnten, sprachen die Aufsichtspersonen der Berufsgenossenschaften Betriebe gezielt an.

Die Messungen führten Audiometristen der Berufsgenossenschaften durch, die das BGIA in die Bedienung des Prüfaufbaus eingewiesen hatte. Das Audiomobil sollte idealerweise an einer ruhigen Stelle auf dem Betriebsgelände abgestellt werden, um Störungen durch Umgebungslärm so weit wie möglich zu vermeiden. Die Beschäftigten wurden im Voraus über die Messungen informiert und sollten jeweils direkt vom Arbeitsplatz zum Audiomobil kommen, wobei sie den Gehörschutz weiterhin unverändert tragen mussten. Insgesamt dauerte jede Messung mit Einweisung, Ausfüllen des Fragebogens und den zwei Hörschwellenbestimmungen mit und ohne Gehörschutz ca. 30 Minuten pro Person.



6 Auswertung der Messergebnisse

Dieses Kapitel beschreibt die Verfahren zur Auswertung der im Audiomobil gemessenen Daten. Die Ergebnisse finden sich im Kapitel 7.

6.1 Aufbau einer Datenbank

Um die Daten, die verschiedene Personen über einen längeren Zeitraum ermittelten, übersichtlich verwalten zu können, baute das BGIA eine Datenbank auf. Die Audiometristen der Berufsgenossenschaften schickten die Messdaten (auf Datenträgern) und die Fragebögen ans BGIA, das sie zentral für die Auswertung sammelte.

Die Datenbank hatte den Vorteil, dass jede Messung mit dem dazugehörigen Fragebogen verknüpft werden konnte, sodass zu jeder Schalldämmkurve direkt auf dem Bildschirm die Angaben zu Gehörschützer und Benutzer sowie die Anmerkungen des Versuchsleiters angezeigt wurden.

Da jedes Produkt schon für die Messung eine Codenummer erhalten hatte, konnten alle Daten zu einem Gehörschützer aus verschiedenen Betrieben automatisch zusammengefasst werden. Aus der Auflistung aller Datensätze ließ sich erkennen, für welche Produkte der Stichprobenumfang noch nicht ausreichte und welche Gehörschützertypen bei den weiteren Messungen besonders zu beachten waren. Datensätze mit zu wenigen Messungen konnten für die Auswertung nicht berücksichtigt werden.

6.2 Aussortieren unplausibler Datensätze

Vor der Auswertung wurden die Daten auf Plausibilität überprüft, um offensichtlich unsinnige Werte aussortieren zu können. Mögliche Fehlerquellen bei der Messung waren Störgeräusche und Unsicherheiten bzw. Unerfahrenheit der Versuchspersonen (siehe Abschnitt 5.3).

Nach Eingabe der Messwerte in die Datenbank lagen zu jedem Datensatz die Angaben aus dem Fragebogen (Abschnitt 5.4) vor, in dem der Versuchsleiter Auffälligkeiten während der Messung notiert hatte.



Für jedes Produkt wurden alle Datensätze grafisch dargestellt (Schalldämmung gegen Frequenz) und die Kurven identifiziert, die unwahrscheinlich hohe oder niedrige Werte der Schalldämmung aufwiesen. Dabei galten Werte < -5 dB (besseres Hören mit Gehörschutz) oder > 50 dB als unwahrscheinlich. Außerdem wurden Kurven, die Ausreißer (einzelne Zacken) enthielten, als kritisch erachtet. Unter Berücksichtigung der Angaben aus dem Fragebogen entschied man für jeden unsicheren Datensatz, ob er verworfen oder in die Auswertung einbezogen wurde. So wurden von 602 Datensätzen 19 von der Auswertung ausgeschlossen.

6.3 Bestimmung von Korrekturwerten für das Schallfeld im Audiomobil

Bevor die im Audiomobil gemessenen Daten mit den Laborwerten der Schalldämmung verglichen werden konnten, mussten der Einfluss der Versuchsanordnung (Messung der Dämmwerte im Audiomobil) auf die Ergebnisse bestimmt und eine Möglichkeit zur Korrektur dieses Effekts ermittelt werden. Wie in Abschnitt 5.3 beschrieben sind für die Messungen im Audiomobil systematische Abweichungen von den Laborwerten für die Schalldämmung zu erwarten. Um diesen Einfluss quantifizieren und somit auch korrigieren zu können, wurden im BGIA Vergleichsmessungen zwischen Labor und Audiomobil durchgeführt.

Im Prinzip unterscheiden sich die beiden Situationen (Labor und Audiomobil) in drei Aspekten: Charakteristik des Schallfeldes, Zuverlässigkeit der Versuchspersonen bei der Hörschwellenmessung und Sitz des Gehörschützers. Da der letzte Punkt das eigentliche Ziel der vorliegenden Untersuchung war, mussten die beiden anderen Einflussfaktoren so weit wie möglich aus den Daten eliminiert werden. Da sich der Einfluss des Schallfeldes bei Gehörschutzstöpseln und Kapselgehörschützern unterschiedlich auswirkt, unterschied man bei der Bestimmung nötiger Korrekturwerte zwischen diesen beiden Produktarten.

Um die Korrekturwerte für Gehörschutzstöpsel zu ermitteln, wurden mit einem Bügelstöpsel vier verschiedene Messungen durchgeführt: jeweils im Laborschallfeld und im Audiomobil mit geübten und ungeübten Versuchspersonen. Ungeübt heißt in diesem Zusammenhang, dass die Personen nicht mit dem Prüfverfahren zur Bestimmung der Hörschwelle vertraut waren. Der Versuchsleiter kontrollierte den korrekten Sitz des Gehörschützers. Alle Personen (16 pro Gruppe) waren im BGIA beschäftigt.



Interessant war vor allem die Frage, ob die Bedingungen für die Betriebsmessungen (Schallfeld und ungeübte Versuchspersonen) auch den Mittelwert der Schalldämmung verändern würden oder nur die Standardabweichung der Stichprobe erhöhten.

Abbildung 3 zeigt die Mittelwerte der vier Messungen für die Schalldämmung und Abbildung 4 (siehe Seite 32) die dazugehörigen Standardabweichungen. Dabei lassen sich an verschiedenen Stellen systematische Unterschiede erkennen. Vergleicht man für einen Messort die beiden Personengruppen (d. h. in der Grafik jeweils gefüllte Symbole mit den entsprechenden offenen), ergeben die Messungen im Labor für die geübten Versuchspersonen bei allen Frequenzen höhere Dämmwerte mit einer maximalen Differenz von ca. 6 dB. Ein ähnlicher Effekt ist für das Audiomobil sichtbar, wobei die Dämmung für tiefe Frequenzen fast übereinstimmt und erst ab 1 kHz für die geübten Personen deutlich besser ist (maximal ca. 5 dB). Die Standardabweichungen, die für alle Messreihen im Bereich von 5 bis 7 dB liegen, sind im Labor und Audiomobil für die geübten Versuchspersonen etwas größer.

Abbildung 3:
Mittelwert der Schalldämmung aus Kontrollmessungen mit einem Bügelstöpsel im Labor und im Audiomobil, jeweils mit 16 geübten und ungeübten Versuchspersonen

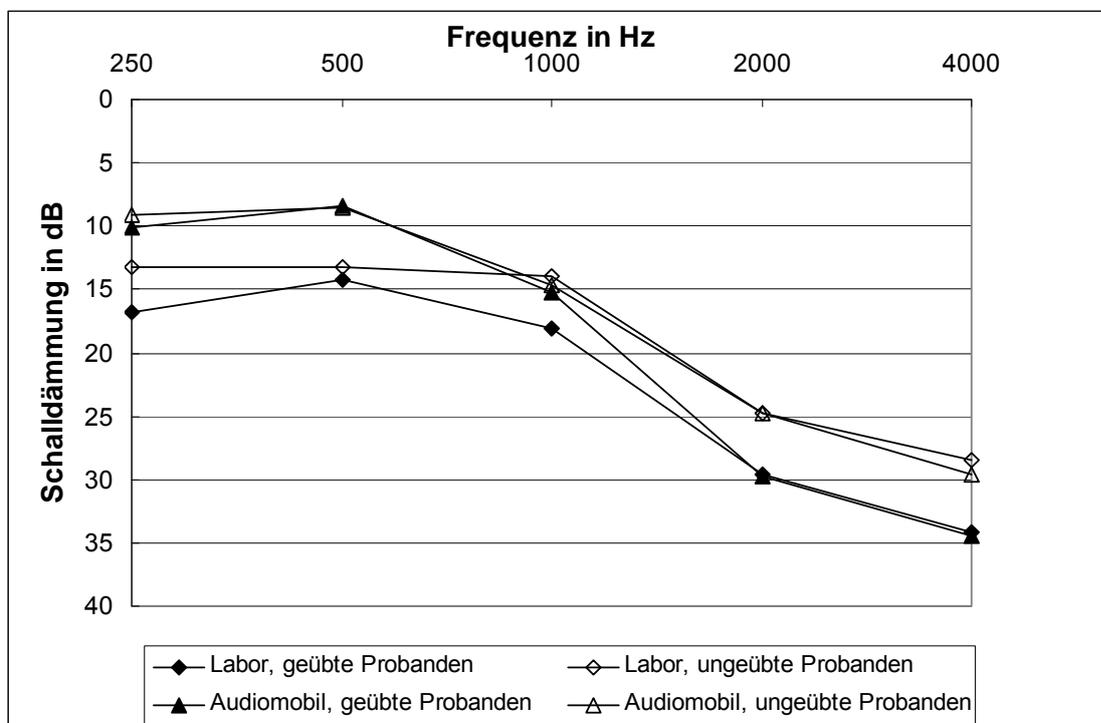
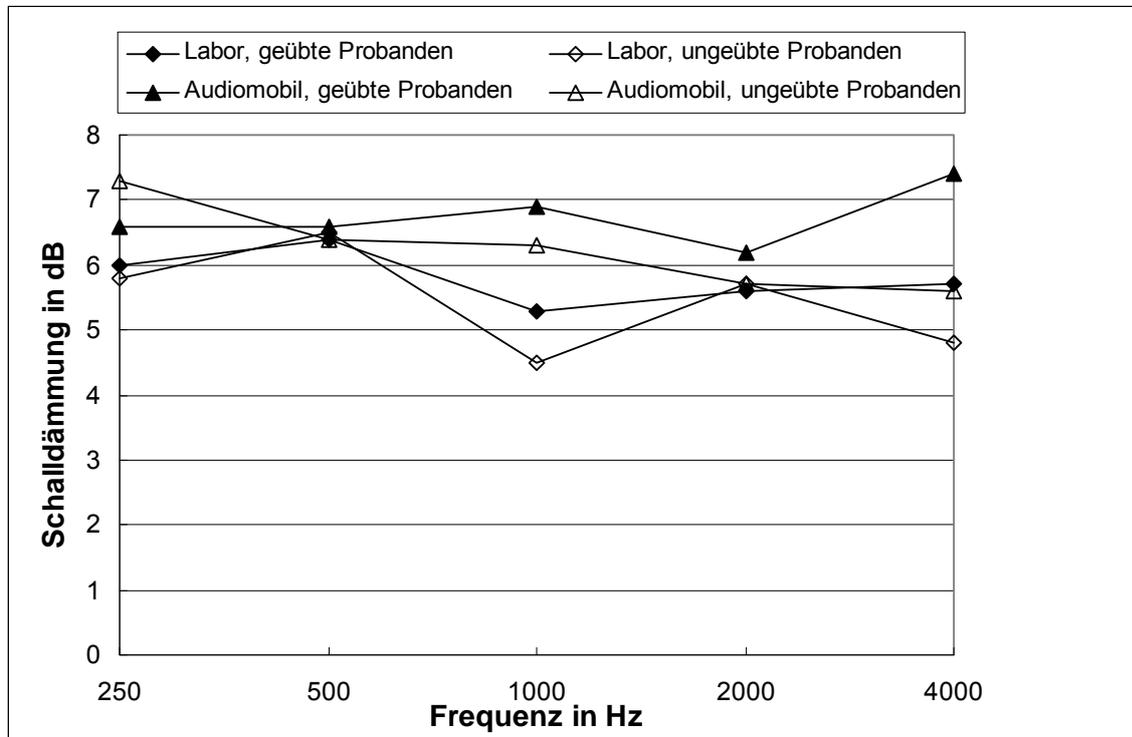




Abbildung 4:
Standardabweichung der Schalldämmung aus Kontrollmessungen mit einem Bügelstöpsel im Labor und im Audiomobil, jeweils mit 16 geübten und ungeübten Versuchspersonen (vgl. Abbildung 3)



Im Vergleich der beiden Messorte für eine Personengruppe, d. h. in der Grafik Quadrate mit Dreiecken, erhält man für die geübten Personen im Labor für die tiefen Frequenzen um bis zu 7 dB höhere Dämmwerte, während bei hohen Frequenzen kein Unterschied vorliegt. Dies gilt in ähnlicher Form für die ungeübten Personen. Die Standardabweichungen sind jeweils im Audiomobil größer als im Labor, was wahrscheinlich auf Störgeräusche von außen zurückzuführen ist.

Um nun die Effekte bei den Betriebsmessungen, die den Einfluss des Auf- oder Einsetzens der Gehörschützer überdecken, möglichst gut korrigieren zu können, müssen die beiden Datensätze von geübten Versuchspersonen im Labor und ungeübten Personen im Audiomobil miteinander verglichen werden. Für die Differenz der Mittelwerte (jeweils Labor versus Audiomobil) ergeben sich dabei die Werte in Tabelle 1. Die Abweichung ist für tiefe Frequenzen etwas größer, was wahrscheinlich auf die Wirkung von Störlärm zurückzuführen ist (siehe Abschnitt 5.3).



Tabelle 1:

Korrekturwerte für die Schalldämmung von Gehörschutzstöpseln, ermittelt aus Messungen mit einem Bügelstöpsel mit geübten Versuchspersonen im Labor und ungeübten Personen im Audiomobil

Frequenz in Hz	250	500	1 000	2 000	4 000
Differenz im Mittelwert der Schalldämmung in dB	7,7	5,7	3,5	4,8	4,5

Im Prinzip weisen diese Werte, da sie aus Stichprobenmittelwerten berechnet wurden, ebenfalls eine Unsicherheit – also Standardabweichung – auf, die jedoch für die Auswertung nicht berücksichtigt wurde. Die Gründe hierfür werden in Abschnitt 6.4 diskutiert. Dennoch zeigt eine Beispielrechnung in Tabelle 4 (Seite 37), wie sich die Berücksichtigung der Standardabweichung auswirken würde.

In einer zweiten Messreihe sollten analoge Korrekturwerte für Kapselgehörschützer bestimmt werden. Dazu fanden am Standort Mainz der BG Metall Nord Süd Messungen mit 14 Beschäftigten statt, die mit dem Messverfahren nicht vertraut waren. Der Versuchsleiter kontrollierte wiederum den korrekten Sitz des Gehörschützes. Abbildung 5 (Seite 34) zeigt jeweils Mittelwert und Standardabweichung dieser Kontrollmessung im Audiomobil und der entsprechenden Werte aus der Baumusterprüfung. Die Differenzen in der Schalldämmung für die einzelnen Frequenzen sind in Tabelle 2 (Seite 34) zusammengestellt. Dabei zeigt sich im Unterschied zu Gehörschutzstöpseln (Tabelle 1) eine starke Frequenzabhängigkeit der Dämmwertdifferenzen: Von über 8 dB für 250 Hz fallen die Werte auf 0 dB für die beiden höchsten Frequenzen 2 und 4 kHz ab. Da bei den Versuchspersonen der Kontrollgruppe auf einen korrekten Sitz des Gehörschützers geachtet wurde, sind diese Differenzen auf Effekte durch das Schallfeld und Störlärm von außen zurückzuführen.

Für die Auswertung wurden die Korrekturwerte für Gehörschutzstöpsel bzw. Kapselgehörschützer jeweils zu der im Audiomobil ermittelten Schalldämmung addiert. Dadurch sollte eine Differenz zwischen Labor- und Audiomobilwerten nur auf den nicht ordnungsgemäßen Sitz der Gehörschützer zurückzuführen sein.



Abbildung 5:

Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) der Schalldämmung für einen Kapselgehörschützer, gemessen mit geübten Versuchspersonen im Labor (Baumusterprüfung) und mit ungeübten Personen als Kontrollgruppe im Audiomobil

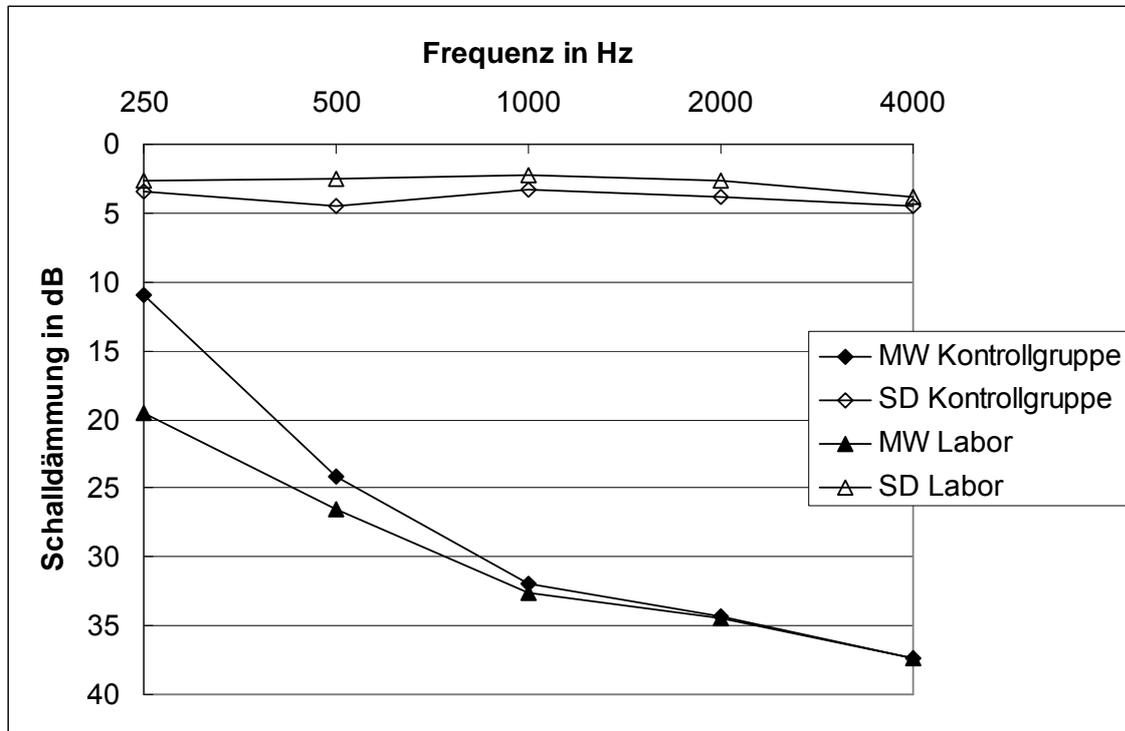


Tabelle 2:

Korrekturwerte für die Schalldämmung von Kapselgehörschützern, ermittelt aus Messungen mit geübten Versuchspersonen im Labor und ungeübten Personen im Audiomobil

Frequenz in Hz	250	500	1 000	2 000	4 000
Differenz im Mittelwert der Schalldämmung in dB	8,6	2,4	0,7	0,0	0,0

6.4 Zielgröße: Differenz des Mittelwertes der Schalldämmung bzw. des APV

Ziel der Untersuchung war die Ermittlung der Schalldämmung von Gehörschützern in der betrieblichen Praxis. Allerdings ist damit noch nicht festgelegt, welche der Größen, die sich aus den Messwerten gewinnen lassen, den Unterschied zwischen der Dämmung im Labor und in der Praxis am besten beschreiben. In diesem Abschnitt sollen der Weg der Auswertung und die möglichen Zielgrößen anhand eines Beispiels illustriert werden. Dabei handelt es sich um den Datensatz eines vor



Gebrauch zu formenden Gehörschutzstöpsels mit 25 Messungen im Betrieb (Abbildung 6 und Tabelle 3). Datensätze mit unplausiblen Schalldämmwerten wurden vorher aussortiert (siehe Abschnitt 6.2, Seite 29).

Abbildung 6:
Messungen ($n = 25$) eines vor Gebrauch zu formenden Gehörschutzstöpsels im Betrieb

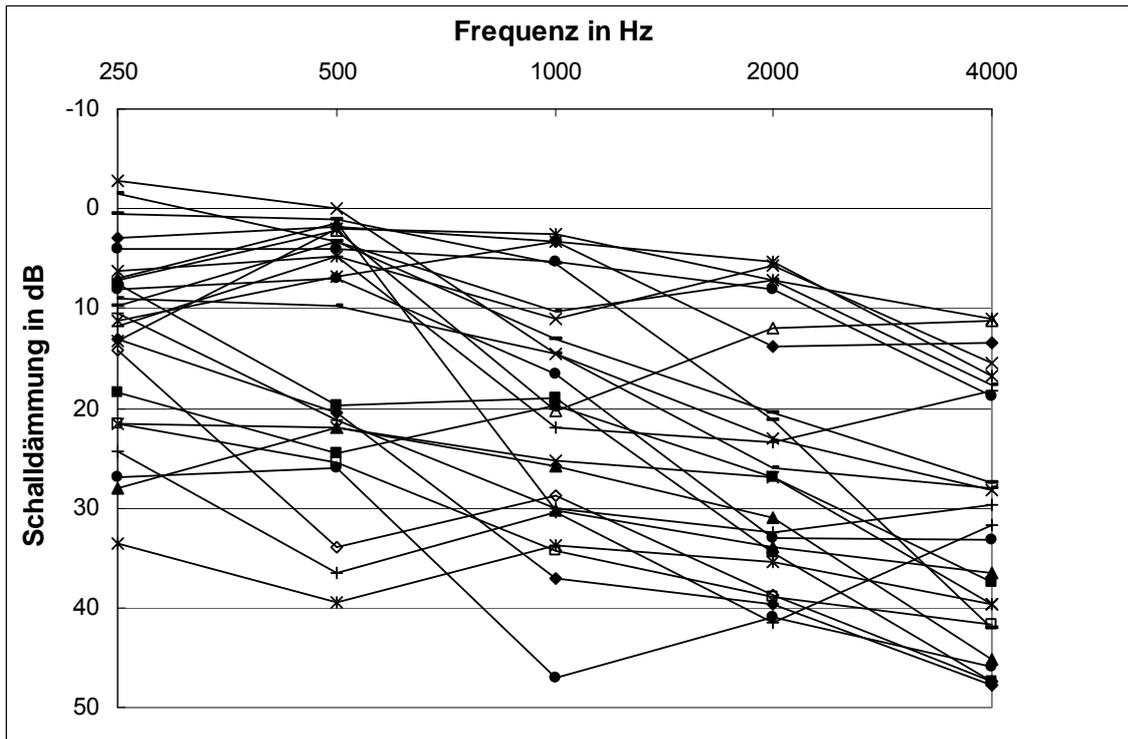


Tabelle 3:
Messungen ($n = 25$) eines vor Gebrauch zu formenden Gehörschutzstöpsels im Betrieb mit Mittelwert und Standardabweichung (Messwerte ergeben sich in 0,25-dB-Schritten)

Nr. des Datensatzes	Schalldämmwerte in dB bei den Frequenzen in Hz				
	250	500	1 000	2 000	4 000
1178	13,0	20,5	37,0	39,75	47,75
1179	7,5	19,75	19,0	34,5	47,5
1180	28,0	22,0	25,75	31,0	45,25
1199	-2,75	0,0	14,5	23,0	28,25
1200	11,25	6,75	3,25	5,25	16,75
1201	4,0	4,0	5,25	8,0	18,75
1202	24,25	36,5	30,5	41,5	31,75



Tabelle 3: Fortsetzung

Nr. des Datensatzes	Schalldämmwerte in dB bei den Frequenzen in Hz				
	250	500	1 000	2 000	4 000
1203	-1,5	3,25	10,25	7,25	17,75
1204	0,5	1,0	5,5	21,25	42,0
1195	14,25	34,0	28,75	38,75	47,5
1196	21,5	25,5	34,25	39,0	41,75
1197	7,25	2,25	20,25	12,0	11,25
1198	21,5	22,0	25,25	27,0	39,75
1280	33,5	39,5	33,75	35,5	39,75
1279	27,0	26,0	47,0	41,0	46,0
1278	10,5	21,25	30,0	32,5	29,75
1277	9,0	9,75	14,5	26,0	28,0
1276	9,75	3,25	13,0	20,5	27,5
1275	3,0	1,75	3,25	13,75	13,5
1274	18,5	24,5	19,75	27,0	37,5
1273	7,0	1,5	30,25	34,0	36,5
1272	6,25	4,75	11,0	5,65	15,5
1271	13,25	2,0	2,5	7,25	11,0
1270	8,0	7,0	16,5	33,0	33,25
1269	11,75	4,75	22,0	23,5	18,25
Mittelwert	12,3	13,7	20,1	25,1	30,9
Standardabweichung	9,4	12,5	12,0	12,2	12,5

Tabelle 4 zeigt die weitere Auswertung der Mittelwerte aus diesen 25 Messungen. Zunächst werden nur die Berechnungsschritte für die **Mittelwerte** diskutiert. Diese werden um die in Abschnitt 6.3 erläuterten Korrekturwerte erhöht (Zeile 1 + Zeile 3 in Tabelle 4). Diese korrigierten Mittelwerte (= Zeile 5 in Tabelle 4) können nun direkt mit den Mittelwerten für die entsprechenden Labordaten (siehe Zeile 11) verglichen werden (siehe Zeile 14), entweder frequenz aufgelöst oder gemittelt (letzter Wert in der Zeile). Da im Audiomobil nur fünf der sonst üblichen acht Prüffrequenzen gemessen werden konnten, ist es nicht möglich, die Praxisabschläge komplett frequenz aufgelöst zu bestimmen. Somit bleibt als Endergebnis für jeden Typ von



Gehörschützer nur der Mittelwert über den untersuchten Frequenzbereich, der in dem hier gezeigten Beispiel bei etwa 13 dB liegt.

Tabelle 4:
Beispiel für den Ablauf einer Auswertung mit den Daten aus Tabelle 3

Zeile		Frequenz in Hz					
		250	500	1 000	2 000	4 000	
Mittelwerte und Standardabweichung aus 25 Messungen im Betrieb							
1	Mittelwert	12,3	13,7	20,1	25,1	30,9	
2	Standardabweichung	9,4	12,5	12,0	12,2	12,5	
Korrekturwerte nach Tabelle 1 (Seite 33)							
3	Mittelwert	7,7	5,7	3,5	4,8	4,5	
4	Standardabweichung	9,4	9,1	8,2	8,0	8,0	
Korrigiert (Standardabweichung nicht berücksichtigt)							
5	Mittelwert (1 + 3)	20,0	19,4	23,6	29,9	35,4	
6	Standardabweichung	9,4	12,5	12,0	12,2	12,5	
7	APV	10,6	6,9	11,6	17,7	22,9	
Korrigiert (Standardabweichung berücksichtigt)							
8	Mittelwert	20,0	19,4	23,6	29,9	35,4	
9	Standardabweichung	13,3	15,5	14,5	14,6	14,9	
10	APV	6,7	3,9	9,1	15,3	20,5	
Laborwerte der Baumusterprüfung							
11	Mittelwert	37,8	39,8	36,2	35,9	41,5	
12	Standardabweichung	6,7	6,8	5,1	3,9	4,2	
13	APV	31,1	33,0	31,1	32,0	37,3	
Differenz						Mittelwert	
14	Mittelwert (11 - 5)	17,8	20,4	12,6	6,0	6,1	12,6
15	APV	24,5	29,0	22,0	16,7	16,8	21,8
16	APV alternativ	20,6	26,1	19,5	14,3	14,4	19,0

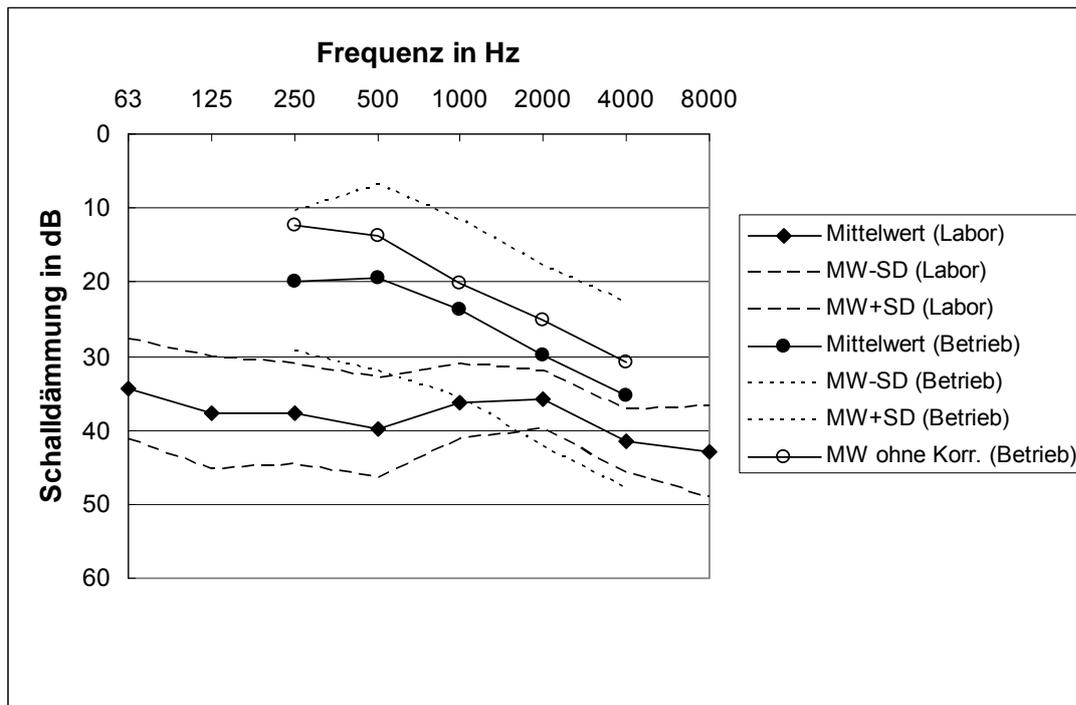
Für alle untersuchten Produkte liegen die Mittelwerte aus den Betriebsmessungen niedriger als die aus dem Labor. Betrachtet man die einzelnen Frequenzen, zeigt sich der stärkste Effekt für die tiefen Frequenzen, wie es für Leckagen durch schlechten Sitz typisch ist. Abbildung 7 stellt die Werte aus den Zeilen 1, 5 und 11



der Tabelle 4 grafisch dar. Dabei ist auch der Effekt der Schallfeldkorrektur aus Tabelle 1 gezeigt (Datensatz mit offenen Kreisen).

Abbildung 7:

Daten aus Tabelle 4 eines vor Gebrauch zu formenden Gehörschutzstöpsels; jeweils Mittelwert und Standardabweichung der Stichproben aus Labor und Betrieb. Für die Kurve mit den offenen Symbolen wurde die Schallfeldkorrektur aus Tabelle 1 nicht berücksichtigt.



Neben dem Mittelwert der Schalldämmung ist die **Standardabweichung** der Stichprobe die zweite wichtige Größe, da sie die Streuung wiedergibt. Dies wird auch bei der Angabe der Schalldämmwerte von Gehörschützern berücksichtigt, indem als Kenngröße die angenommene Schutzwirkung (Assumed Protection Value, APV) angegeben wird. Diese berechnet sich aus dem Mittelwert der gemessenen Schalldämmung abzüglich der Standardabweichung. Unter der Voraussetzung normalverteilter Messwerte wird dieser Wert der Schalldämmung bei 84 % der Personen mindestens erreicht, der Mittelwert hingegen nur bei mindestens 50 %.

Wie zu erwarten ist die Standardabweichung aus den Betriebsmessungen meist höher als für die Laborwerte, da die Probanden eben nicht auf einen korrekten Sitz der Gehörschützer achten. Dies beeinflusst zusammen mit dem reduzierten Mittelwert der Dämmung den APV für die Audiomobilmessungen. Die Differenz zwischen



den APVs aus Labor und Audiomobil ist somit im Allgemeinen deutlich größer als die zwischen den entsprechenden Mittelwerten, da hierbei beide Effekte, die zu einer schlechteren Schutzwirkung (d. h. Reduzierung der APV) führen, berücksichtigt werden. In Tabelle 4 findet sich der APV für die Audiomobilmessung in Zeile 7 (Zeile 5 - Zeile 6), der für die Labormessungen in Zeile 13. In diesem Beispiel belaufen sich also die Differenzen auf 19 dB für den APV (Zeile 16, letzte Spalte) und ca. 13 dB für den Mittelwert.

Streng genommen, muss man bei der Korrektur der Dämmwerte aus dem Audiomobil mit den Korrekturwerten aus Tabelle 1 auch deren Standardabweichung berücksichtigen (Zeile 4 in Tabelle 4). Die Berechnung mit dem Fehlerfortpflanzungsgesetz aus den Daten in den Zeilen 2 und 4 ergibt die Standardabweichung in Zeile 9. Dadurch erhöht sich die Standardabweichung der Audiomobildaten noch mehr, was zu einer noch höheren Abweichung zwischen den APV von 22 dB (Zeile 15, letzte Spalte) führt.

Aus Gründen der besseren Handhabbarkeit der Abschlüsse bzgl. ihrer Unsicherheiten beschloss der Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstung“ folgende Konvention:

Bei der Berechnung der Praxisabschlüsse, die sich aus den Differenzen zwischen Labor und Audiomobil ergeben, werden nur die Mittelwerte verwendet.

Bei dieser festgelegten Vorgehensweise wird die Abweichung der Standardabweichung aus der Praxis im Vergleich zu der aus dem Labor vernachlässigt.

Die weitere Auswertung der Daten aus dem Audiomobil (Mittelung und Fehlerbetrachtung) berücksichtigt somit nur die Differenz der Mittelwerte.

6.5 Prüfung der Datensätze auf Normalverteilung

Da für die Auswertung der Datensätze immer die beiden Größen Mittelwert und Standardabweichung verwendet werden, wurde für einige Stichproben exemplarisch überprüft, ob die Messwerte einer Normalverteilung gehorchen. Dazu setzte man zwei Methoden ein: Die Daten können auf sogenanntes Wahrscheinlichkeitspapier aufgetragen werden, sodass eine grafische Beurteilung der Verteilung möglich ist. Alternativ wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test des Statistikprogramms SPSS



(Version 15) verwendet, der rechnerisch auf Normalverteilung prüft und eine dazugehörige Vertrauenswahrscheinlichkeit angibt.

Für die Auftragung auf Wahrscheinlichkeitspapier müssen die gemessenen Dämmwerte der Größe nach sortiert in Klassen eingeteilt werden. Danach wird für jede Klasse die relative Häufigkeit berechnet, d. h. welcher Anteil der Daten jeweils in einer Klasse liegt. Daraus ergibt sich die kumulierte Häufigkeit, also der Anteil der Daten, der in der jeweiligen Klasse oder darunter liegt. Diese Werte für den gemessenen Datensatz vergleicht man nun mit den entsprechenden Zahlen für eine berechnete Normalverteilung, die den gleichen Mittelwert und die gleiche Standardabweichung wie die Stichprobe aufweist. Um die Verteilung der Daten in einer Grafik anschaulich zu machen, werden die kumulierten Häufigkeiten gegen die gemessenen Dämmwerte aufgetragen, wobei eine speziell skalierte Ordinate für die kumulierte Wahrscheinlichkeit verwendet wird. Die Skalierung ist so gewählt, dass sich für eine Normalverteilung eine Gerade ergibt, sodass Abweichungen der Messwerte von dieser Vorgabe leicht zu erkennen sind.

Der Kolmogorov-Smirnov-Test betrachtet ebenfalls die Abweichungen der gemessenen Daten von einer Normalverteilung, die in Mittelwert und Standardabweichung mit der Stichprobe übereinstimmt. Dabei werden zuerst die kumulierten Häufigkeiten für die Stichprobe und die berechnete Normalverteilung bestimmt. Für jeden Messwert ergibt sich eine Differenz zwischen der experimentell bestimmten Häufigkeit und der berechneten. In Abhängigkeit von der Stichprobengröße und dem geforderten Konfidenzniveau sind maximale Abweichungen tabelliert. Übersteigt eine Differenz aus der Messung diesen Wert, ist die gemessene Verteilung auf dem gewählten Konfidenzniveau nicht normalverteilt.

6.6 t-Test: Signifikanz der Abweichungen zwischen Labor und Audiomobil

Um zu überprüfen, ob der Unterschied zwischen den beiden Stichproben aus Labor und Audiomobil signifikant ist, wurde mit dem Statistikprogramm SPSS der t-Test auf die Messwerte aus dem Audiomobil (für jede Prüffrequenz einzeln) angewendet. Der Test gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Mittelwerte zweier Stichproben aus derselben Grundgesamtheit stammen. Im vorliegenden Fall ist zu erwarten, dass diese Wahrscheinlichkeit klein ist, da sich die Trageweisen von Gehörschutz im



Labor und in der Praxis deutlich voneinander unterscheiden. Gewählt wurde der t-Test mit einer Stichprobe, bei dem der Mittelwert aus einer Stichprobe mit einem Testwert verglichen wird. Dieser Testwert war der Wert der Laborschalldämmung abzüglich des entsprechenden Korrekturwertes aus Abschnitt 6.3, da für die Labordämmwerte die Einzeldaten nicht vorlagen. Als Signifikanzniveau im Test wurde 5 % gewählt.

Nun können verschiedene Fälle auftreten: Die Werte aus dem Audiomobil können größer oder kleiner sein als die Laborschalldämmung, außerdem können die beiden Mittelwerte einen großen Unterschied aufweisen oder nah beieinander liegen. Im letzten Fall liegt eine große Wahrscheinlichkeit für eine gemeinsame Grundgesamtheit vor, sodass die beiden Stichproben nicht als unterschiedlich betrachtet werden dürfen.

6.7 Mittelung für einzelne Gehörschützertypen

Die bei den Messungen im Audiomobil untersuchten Gehörschützer decken alle erhältlichen passiven Typen ab. Dies sind:

- vor Gebrauch zu formende Stöpsel (aus Schaumstoff),
- fertig geformte Stöpsel (Lamellenstöpsel),
- Bügelstöpsel,
- Kapselgehörschützer und
- Otoplastiken.

Da sich die einzelnen Arten darin unterscheiden, wie gut und zuverlässig sie typischerweise eingesetzt werden, wurde in diesem Projekt für jeden Typ von Gehörschützer die Differenz zwischen der Schalldämmung im Labor und im Audiomobil bestimmt. Dazu mussten die Ergebnisse der Produkte eines Typs auf geeignete Weise gemittelt werden.

Drei Größen beschreiben jede Stichprobe (Datensatz für einen speziellen Gehörschützer): Umfang der Stichprobe (n_i) sowie (für jede der fünf Messfrequenzen) Mittelwert (\bar{x}_i) und Standardabweichung (s_i) der Differenz der Schalldämmungen zwischen Labor und Audiomobil. Um all diese Größen zu berücksichtigen, wurden



die Differenzen der k verschiedenen Stichproben der Schalldämmung für einen bestimmten Gehörschützertyp nach folgender Formel gewogen gemittelt [11]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \bar{x}_i / s_i^2}{\sum_{i=1}^k n_i / s_i^2} \quad (1)$$

Durch die Gewichtung mit Stichprobengröße und Standardabweichung haben Stichproben mit einem größeren Umfang oder einer kleineren Standardabweichung mehr Einfluss auf das Endergebnis.

Diese Mittelung lässt sich für jede der fünf Messfrequenzen durchführen oder für den über die Frequenzen gemittelten Wert. Auf diese Größe muss zurückgegriffen werden, wenn der Effekt des nicht korrekten Tragens von Gehörschützern durch eine einzige Zahl beschrieben werden soll. Als entsprechende Standardabweichung wurde analog der Mittelwert der Standardabweichungen über die fünf Frequenzen verwendet.

6.8 Unsicherheitsbetrachtung

Dieser Abschnitt erläutert, mit welchen Unsicherheiten die (End-)Ergebnisse der Auswertung behaftet sind. Prinzipiell sind alle Messgrößen nicht exakt bestimmbar. Im vorliegenden Fall handelt es sich dabei um die Schalldämmwerte aus Labor und Audiomobil sowie die Korrekturwerte für den Einfluss des Schallfeldes. Alle Größen ergeben sich aus Stichprobennahmen mit anschließender Mittelwertbildung. Die Standardabweichung beschreibt die jeweilige Streuung.

Die Schallfeldkorrektur berechnet sich aus der Differenz der Schalldämmung aus zwei verschiedenen Messungen. Die Unsicherheit dieser Differenz ergibt sich durch Anwendung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes auf die Unsicherheiten der beiden einzelnen Messreihen. Dadurch erhält man eine relativ große Unsicherheit.

Da das Ziel dieser Studie darin bestand, die im Betrieb erreichte Schalldämmung zu bestimmen, wurde nur für die Messwerte aus dem Betrieb die Unsicherheit berücksichtigt. Die Unsicherheit der Korrekturwerte geht also nicht in die Auswertung ein, sodass den (um den Einfluss des Schallfeldes) korrigierten Differenzen zu den



Laborwerten dieselbe Standardabweichung zugeordnet wird wie den gemessenen Rohdaten.

Wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben wurde für jeden Gehörschutztyp der gewogene Mittelwert über die Differenzen in der Schalldämmung der einzelnen Produkte gebildet. Diese Größe charakterisiert eine Messreihe, die aus der Vereinigung aller Werte der einzelnen Stichproben gebildet wird. Für diese Messreihe lässt sich zusätzlich die gewogene Varianz der x -Werte nach folgender Formel berechnen [11]:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_i (n_i - 1) s_i^2 + \sum_i n_i (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2 \right] \quad (2)$$

Eine weitere interessante Größe ist der Standardfehler des Mittelwertes, der sich aus dieser Standardabweichung s und der Größe der Gesamtmessreihe n ergibt:

$$s_{\bar{x}} = s / \sqrt{n} \quad (3)$$



7 Ergebnisse und Diskussion

7.1 Zusammenstellung der Ergebnisse

Insgesamt wurden 829 Datensätze aufgenommen, davon 583 für die Auswertung berücksichtigt. Damit liegen Ergebnisse für 13 verschiedene Produkte vor; die größte Stichprobe umfasst 88 Messungen und die kleinste elf.

Die folgenden Abschnitte präsentieren die Resultate in tabellarischer und grafischer Form. Eine allgemeine Diskussion folgt in Abschnitt 7.1.5, weitere Abschnitte gehen auf spezielle Aspekte ein.

7.1.1 Übersicht über die Datensätze – Gesamtergebnis

Tabelle 5 zeigt die ausgewerteten Datensätze mit dem jeweiligen Stichprobenumfang, sortiert nach Gehörschützertypen. Die vor Gebrauch zu formenden Stöpsel sind die größte Gruppe, sowohl nach Anzahl der Produkte (fünf) als auch der Datensätze (262). Für die anderen Gehörschutztypen wurden jeweils nur zwei Produkte ausgewertet. Bei den Otoplastiken wurden drei Produkte berücksichtigt, allerdings ist eine Stichprobe deutlich kleiner als die anderen beiden, sodass sie wenig zum gewogenen Mittelwert beiträgt.

Tabelle 5:
Ausgewertete Datensätze nach Gehörschützertypen sortiert

Produktbezeichnung	Anzahl der Messungen
Vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel	
Moldex Spark Plugs	88
E-A-R Classic II	74
Howard Leight MaxLite	37
Bilsom 303	38
Howard Leight MultiMax	25
Fertig geformte Gehörschutzstöpsel	
E-A-R UltraFit	62
Moldex Rockets Cord	27



Tabelle 5: Fortsetzung

Produktbezeichnung	Anzahl der Messungen
Bügelstöpsel	
Bilsom PerCap	30
E-A-R Flexicap (Kinnbügel)	33
Kapselgehörschützer	
Bilsom Viking V2	33
Otoplastiken	
Sicom	60
Uvex HighFit F10	69
Sonus AS	11

Tabelle 6 gibt einen Überblick über das Gesamtergebnis der Studie. Für jeden Gehörschützertyp ist die gemittelte Differenz aus den Mittelwerten der Schalldämmung im Labor und im Audiomobil angegeben. Berechnet wurden für diese Größe Mittelwert, Standardabweichung und Standardfehler des Mittelwertes (siehe Abschnitt 6.8, Gl. 1 bis 3).

Tabelle 6:
Gemittelte Differenzen der Schalldämmung zwischen den Messungen im Labor und im Audiomobil; SD: Standardabweichung des Mittelwertes, SE: Standardfehler des Mittelwertes

Anzahl der Typen	Anzahl der Datensätze	Gemittelte Differenz der Mittelwerte	SD	SE
Vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel				
5	262	7,8	10,9	0,7
Fertig geformte Gehörschutzstöpsel				
2	85	5,0	9,7	1,0
Bügelstöpsel				
2	63	4,5	8,3	1,0
Kapselgehörschützer				
1	33	3,0	---	---
Otoplastiken				
3	140	6,0	9,0	0,8
$\Sigma = 13$	$\Sigma = 583$			



7.1.2 Differenzen der Schalldämmung nach Gehörschützertypen sortiert

In den Tabellen 7 bis 16 sind die Ergebnisse für die einzelnen Produkte, jeweils getrennt nach Gehörschützertypen, aufgelistet. Die erste Tabelle für jede Produktgruppe enthält die über die fünf Messfrequenzen gemittelte Differenz der Schalldämmung zwischen den Messungen im Betrieb/Audiomobil und im Labor. Zum Vergleich werden diese Differenzen sowohl für den Mittelwert der Schalldämmung als auch für den APV (Assumed Protection Value) angegeben (vgl. Abschnitt 6.4), wobei der Unterschied für den APV deutlich größer ausfällt, da hier die größere Standardabweichung der Feldmessungen ebenfalls eingeht. Des Weiteren ist in dieser Tabelle für jedes Produkt die über die Frequenzen gemittelte Standardabweichung aufgeführt, die für die gewogene Mittelung der Differenzen in der Schalldämmung benötigt wird. Der so erhaltene Mittelwert mit Standardabweichung (SD) und Standardfehler (SE) ist das Endergebnis für einen Gehörschützertyp.

Die zweite Tabelle für jeden Gehörschützertyp zeigt für alle Produkte die Differenz in der Schalldämmung in Abhängigkeit von der Frequenz. Dabei wurden jeweils Mittelwert und Standardabweichung über die einzelne Stichprobe gebildet.

Tabelle 7:

Vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel: über die Frequenzen gemittelte Abweichung von der Laborschalldämmung

Produktbezeichnung	Anzahl der Datensätze	Gemittelte Differenz der Mittelwerte	SD der Stichprobe	Differenz im APV
Moldex Spark Plugs	88	8,9	11,4	14,3
E-A-R Classic II	74	2,8	9,3	8,0
Howard Leight MaxLite	37	10,5	10,1	15,1
Bilsom 303	38	11,9	9,4	14,0
Howard Leight MultiMax	25	12,6	11,8	19,0
$\Sigma = 262$				
Mittelwert		7,8		
Standardabweichung		10,9		
SE des Mittelwertes		0,7		



Tabelle 8:

Vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel: Differenz der Mittelwerte der Schalldämmung (Labor - Betrieb) für die fünf untersuchten Frequenzen

	Frequenz in Hz				
	250	500	1 000	2 000	4 000
Moldex Spark Plugs					
Mittelwert	12,5	13,1	9,4	3,8	5,4
Standardabweichung	10,8	11,2	13,0	10,4	11,4
E-A-R Classic II					
Mittelwert	5,9	5,5	1,3	0,3	1,2
Standardabweichung	8,4	8,8	11,6	9,0	8,5
Howard Leight MaxLite					
Mittelwert	18,1	18,1	15,0	1,3	-0,2
Standardabweichung	9,3	11,1	8,4	11,8	9,8
Bilsom 303					
Mittelwert	18,6	19,5	12,4	3,8	5,1
Standardabweichung	8,9	10,0	10,0	8,3	9,8
Howard Leight MultiMax					
Mittelwert	17,9	20,4	12,6	6,0	6,1
Standardabweichung	9,4	12,5	12,0	12,2	12,5
Gemittelt über alle Produkte					
Mittelwert	12,5	12,3	9,5	2,5	2,9
Standardabweichung	10,7	11,9	12,5	10,2	10,5
SE des Mittelwertes	0,7	0,7	0,8	0,6	0,7

Tabelle 9:

Fertig geformte Gehörschutzstöpsel: über die Frequenzen gemittelte Abweichung von der Laborschalldämmung

Produktbezeichnung	Anzahl der Datensätze	Gemittelte Differenz der Mittelwerte	SD der Stichprobe	Differenz im APV
E-A-R UltraFit	58	5,2	9,2	7,6
Moldex Rockets Cord	27	4,4	10,7	10,0
$\Sigma = 85$				
Mittelwert		5,0		
Standardabweichung		9,7		
SE des Mittelwertes		1,0		



Tabelle 10:

Fertig geformte Gehörschutzstöpsel: Differenz der Mittelwerte der Schalldämmung (Labor - Betrieb) für die fünf untersuchten Frequenzen

	Frequenz in Hz				
	250	500	1 000	2 000	4 000
E-A-R UltraFit					
Mittelwert	8,4	8,7	3,1	1,1	5,0
Standardabweichung	8,1	9,1	9,7	9,1	10,1
Moldex Rockets Cord					
Mittelwert	7,9	9,3	1,6	2,0	1,4
Standardabweichung	8,8	11,2	10,4	11,2	12,1
Gemittelt über alle Produkte					
Mittelwert	8,3	8,8	2,7	1,3	4,1
Standardabweichung	8,3	9,8	9,9	9,8	10,9
SE des Mittelwertes	0,9	1,1	1,1	1,1	1,2

Tabelle 11:

Bügelstöpsel: über die Frequenzen gemittelte Abweichung von der Laborschalldämmung

Produktbezeichnung	Anzahl der Datensätze	Gemittelte Differenz der Mittelwerte	SD der Stichprobe	Differenz im APV
Bilsom PerCap	30	0,4	7,7	4,9
E-A-R Flexicap (Kinnbügel)	33	7,7	7,2	10,0
$\Sigma = 63$				
Mittelwert		4,5		
Standardabweichung		8,3		
SE des Mittelwertes		1,0		

Tabelle 12:

Bügelstöpsel: Differenz der Mittelwerte der Schalldämmung (Labor - Betrieb) für die fünf untersuchten Frequenzen

	Frequenz in Hz				
	250	500	1 000	2 000	4 000
Bilsom PerCap					
Mittelwert	3,5	1,8	0,8	-1,5	-2,5
Standardabweichung	7,2	7,7	6,5	9,6	7,7



Tabelle 12: Fortsetzung:

	Frequenz in Hz				
	250	500	1 000	2 000	4 000
E-A-R Flexicap (Kinnbügel)					
Mittelwert	9,0	8,9	5,4	8,6	6,8
Standardabweichung	4,9	4,0	10,1	8,4	8,7
Gemittelt über alle Produkte					
Mittelwert	7,4	7,5	2,2	4,5	1,8
Standardabweichung	6,7	7,3	8,9	10,3	9,4
SE des Mittelwertes	0,8	0,9	1,1	1,3	1,2

Tabelle 13:
Kapselgehörschützer: über die Frequenzen gemittelte
Abweichung von der Laborschalldämmung

Produktbezeichnung	Anzahl der Datensätze	Gemittelte Differenz der Mittelwerte	SD der Stichprobe	Differenz im APV
Bilsom Viking V2	33	3,0	6,7	6,9
	$\Sigma = 33$			
	Mittelwert	3,0		
	Standardabweichung	---		
	SE des Mittelwertes	---		

Tabelle 14:
Kapselgehörschützer: Differenz der Mittelwerte der Schalldämmung (Labor - Betrieb)
für die fünf untersuchten Frequenzen

	Frequenz in Hz				
	250	500	1 000	2 000	4 000
Bilsom Viking V2					
Mittelwert	4,1	3,6	1,3	0,8	5,0
Standardabweichung	6,5	6,7	7,0	7,8	5,4
Gemittelt über alle Produkte (entfällt, da nur ein Produkt)					
Mittelwert	---	---	---	---	---
Standardabweichung	---	---	---	---	---
SE des Mittelwertes	---	---	---	---	---



Tabelle 15:
Otoplastiken: über die Frequenzen gemittelte Abweichung
von der Laborschalldämmung.

Produktbezeichnung	Anzahl der Datensätze	Gemittelte Differenz der Mittelwerte	SD der Stichprobe	Differenz im APV
Sicom	60	6,7	10,4	11,6
Uvex HighFit F10	69	5,5	7,4	6,4
Sonus AS	11	8,3	10,0	13,2
$\Sigma = 140$				
Mittelwert		6,0		
Standardabweichung		9,0		
SE des Mittelwertes		0,8		

Tabelle 16:
Otoplastiken: Differenz der Mittelwerte der Schalldämmung (Labor - Betrieb)
für die fünf untersuchten Frequenzen

	Frequenz in Hz				
	250	500	1 000	2 000	4 000
Sicom					
Mittelwert	8,5	11,0	4,3	1,0	8,5
Standardabweichung	8,7	8,6	12,6	10,8	11,5
Uvex HighFit F10					
Mittelwert	11,2	8,7	3,6	0,6	3,4
Standardabweichung	7,0	8,0	8,2	6,1	7,7
Sonus AS					
Mittelwert	12,5	11,0	10,6	3,5	2,1
Standardabweichung	6,3	9,7	13,6	12,2	10,5
Gemittelt über alle Produkte					
Mittelwert	10,5	9,8	4,1	0,8	4,7
Standardabweichung	7,9	8,4	10,8	8,9	10,0
SE des Mittelwertes	0,7	0,7	0,9	0,7	0,8



7.1.3 Grafische Darstellung der Messwerte – Vergleich mit Laborwerten

Die Abbildungen 8 bis 20 zeigen für jedes untersuchte Produkt – sortiert nach Gehörschützertyp – die im Labor bzw. im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmung (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung) in den einzelnen Prüffrequenzen. Die im Betrieb ermittelte Schalldämmung wurde mit den Werten aus Tabelle 1 bzw. 2 (siehe Seite 33 und 34) korrigiert.

a) Vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel

Abbildung 8:

Im Labor versus im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmwerte für den Gehörschutzstöpsel „Moldex Spark Plugs“ (88 Datensätze)

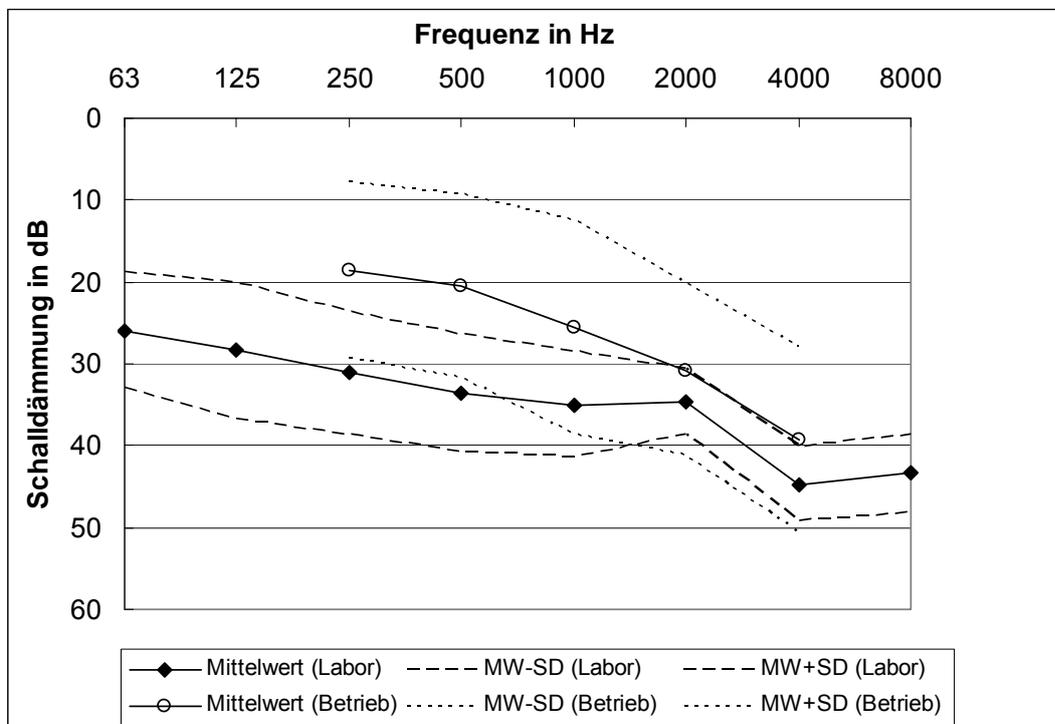




Abbildung 9:
Im Labor versus im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmwerte für den Gehörschutzstöpsel „E-A-R Classic II“ (74 Datensätze)

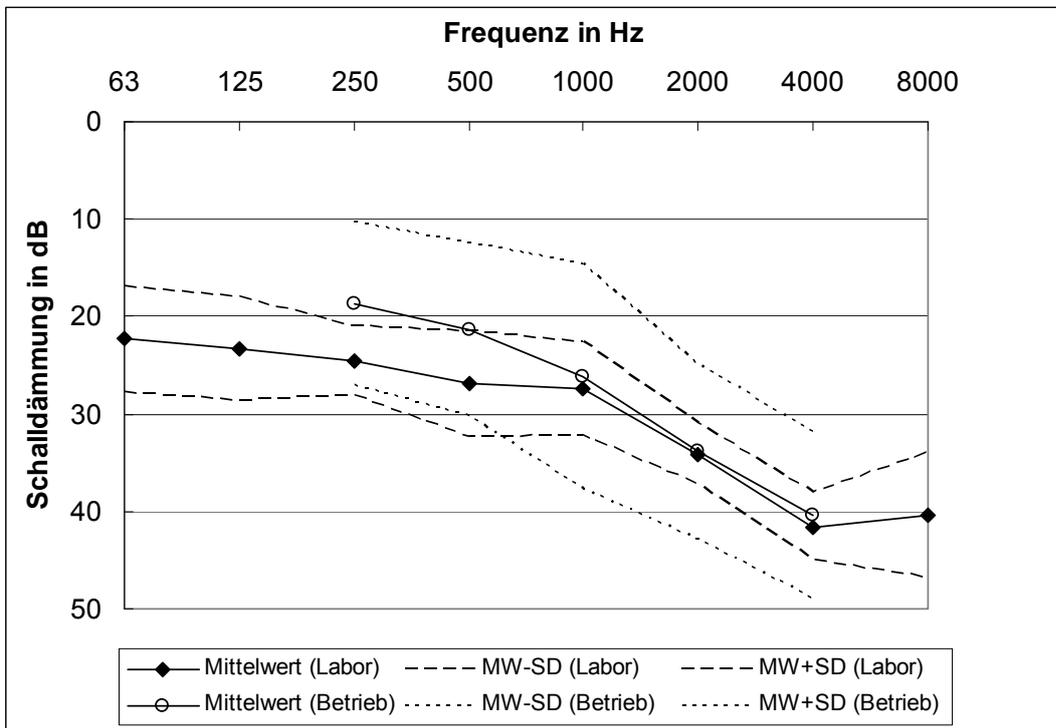


Abbildung 10:
Im Labor versus im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmwerte für den Gehörschutzstöpsel „Howard Leight MaxLite“ (37 Datensätze)

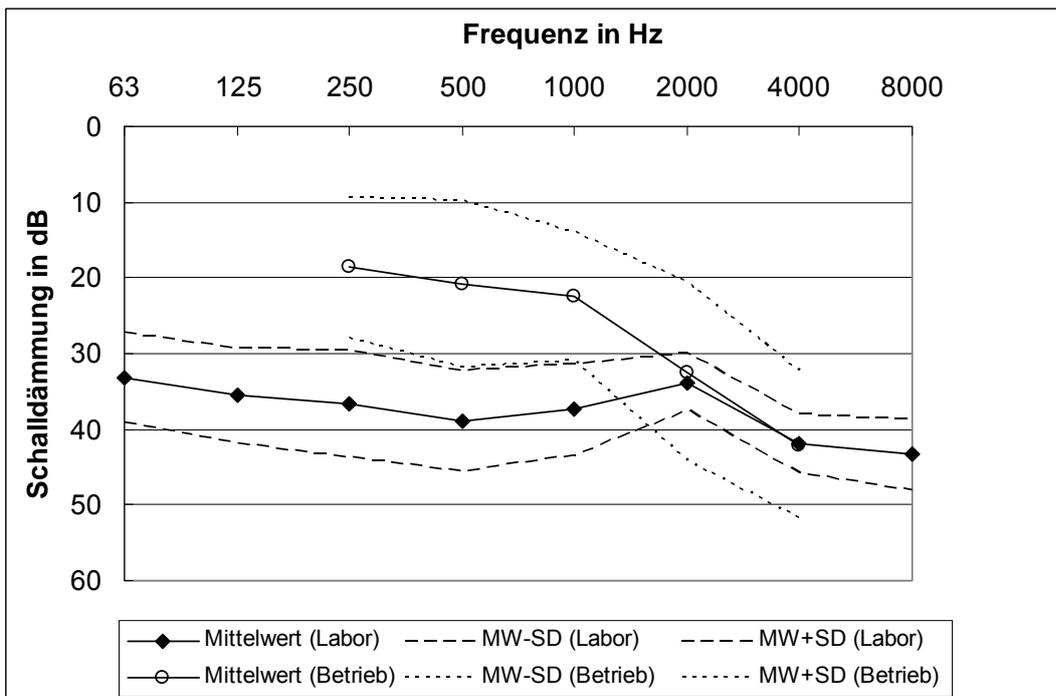




Abbildung 11:
Im Labor versus im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmwerte
für den Gehörschutzstöpsel „Bilsom 303“ (38 Datensätze)

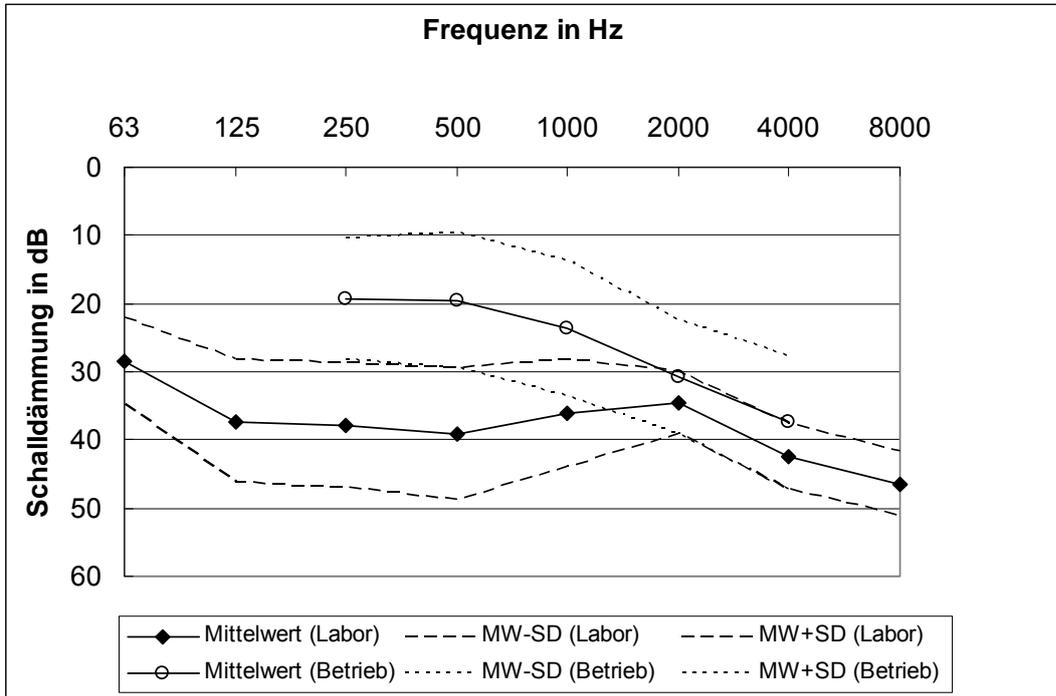
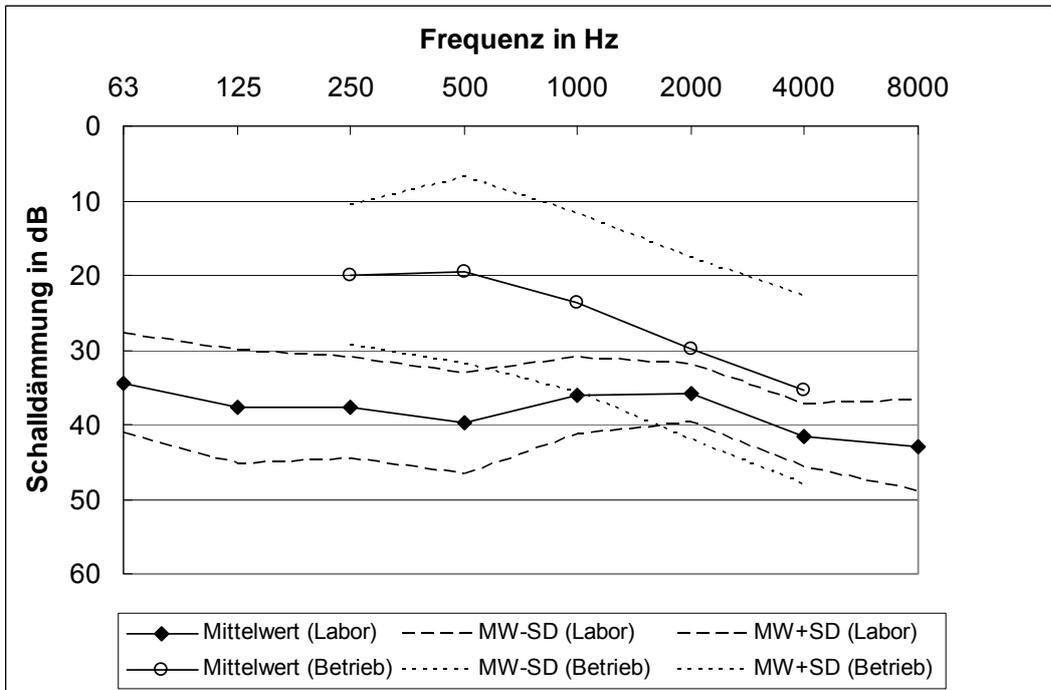


Abbildung 12:
Im Labor versus im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmwerte für den
Gehörschutzstöpsel „Howard Leight Multimax MM-1“ (25 Datensätze)





b) Fertig geformte Gehörschutzstöpsel

Abbildung 13:

Im Labor versus im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmwerte für den Gehörschutzstöpsel „E-A-R Ultrafit“ (58 Datensätze)

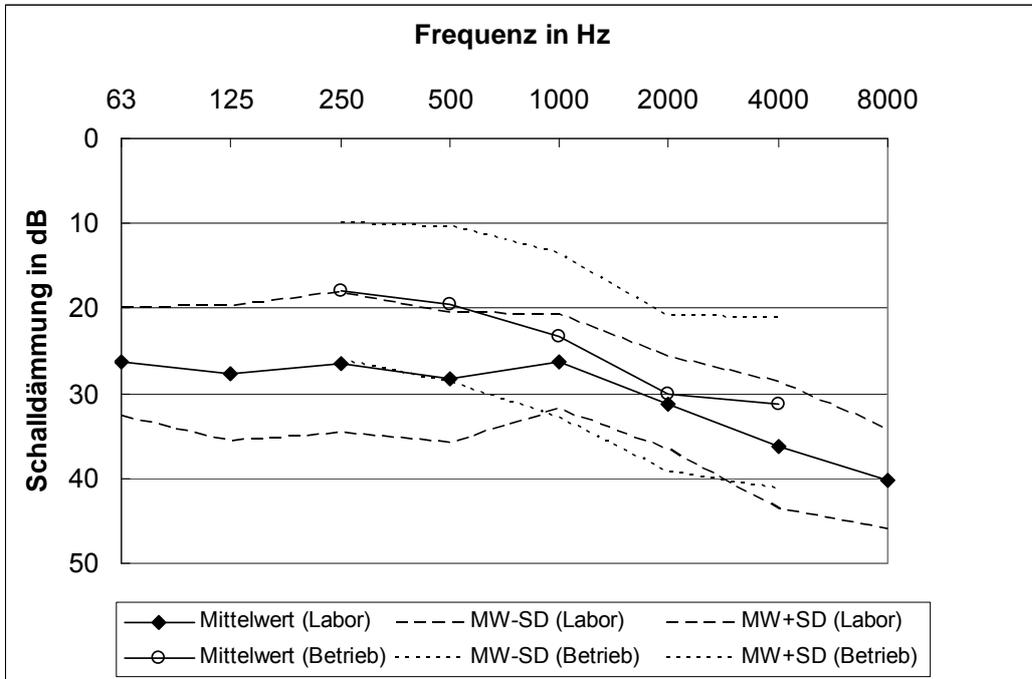
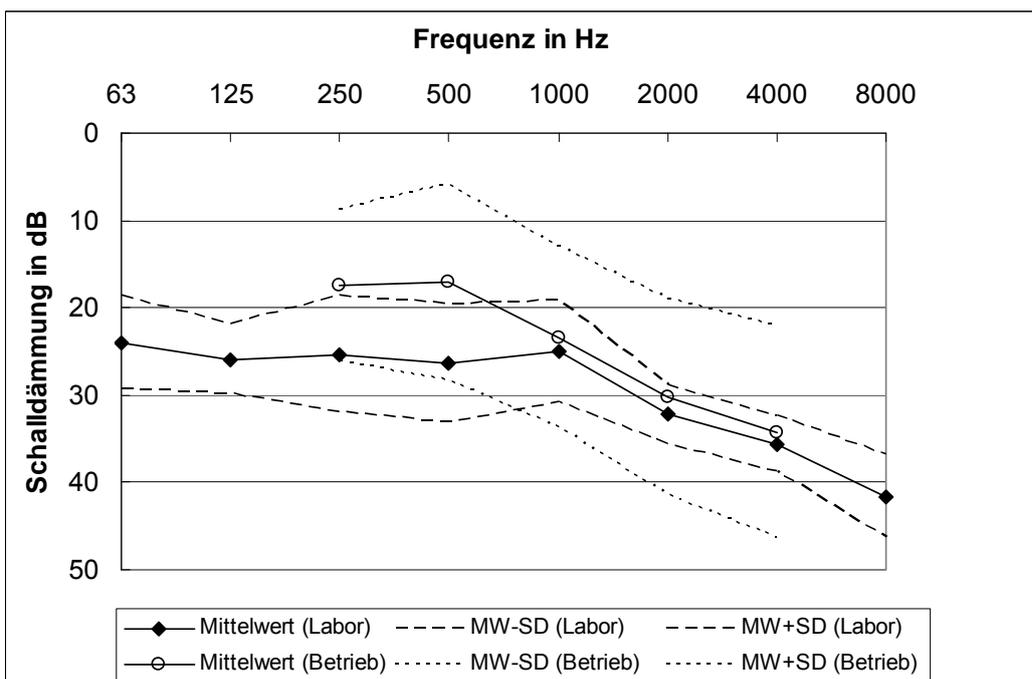


Abbildung 14:

Im Labor versus im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmwerte für den Gehörschutzstöpsel „Moldex Rockets Cord“ (27 Datensätze)





c) Bügelstöpsel

Abbildung 15:
Im Labor versus im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmwerte
für den Bügelstöpsel „Bilsom PerCap“ (30 Datensätze)

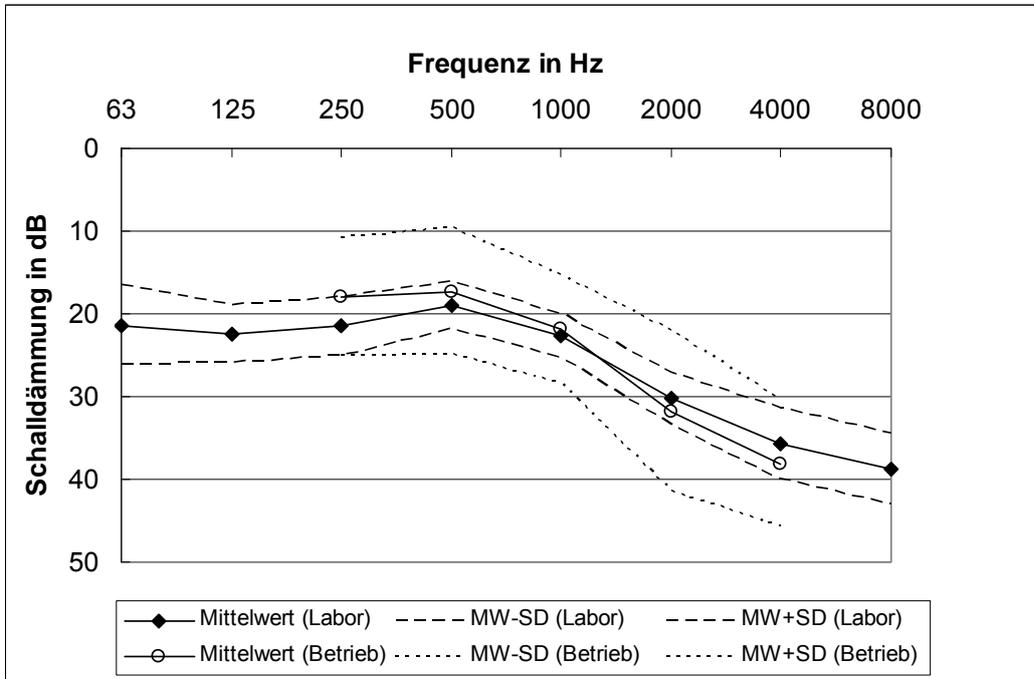
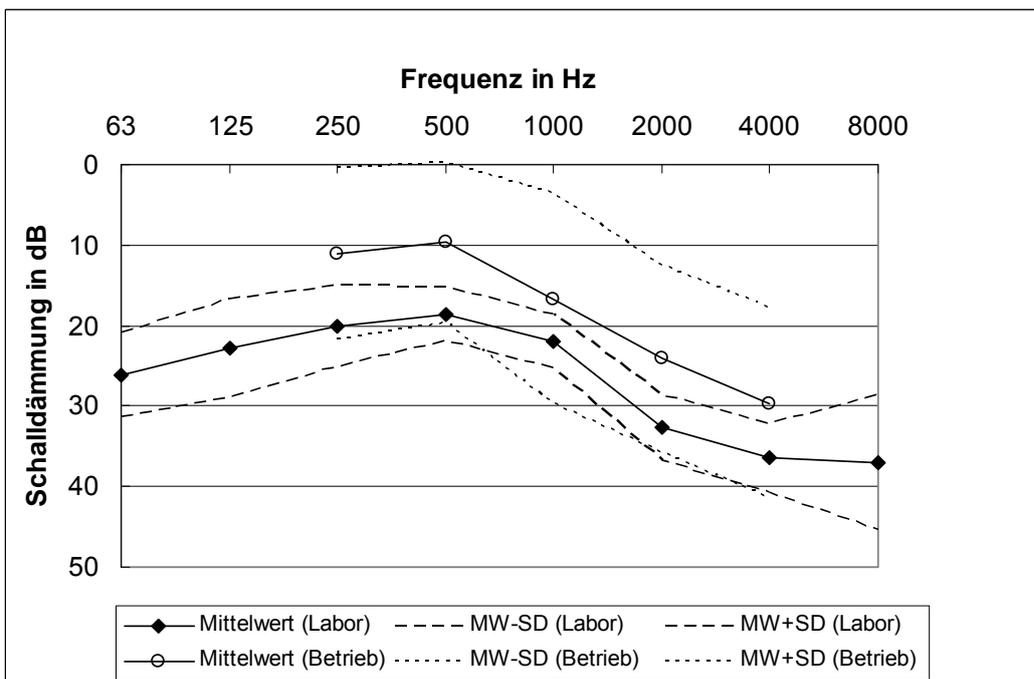


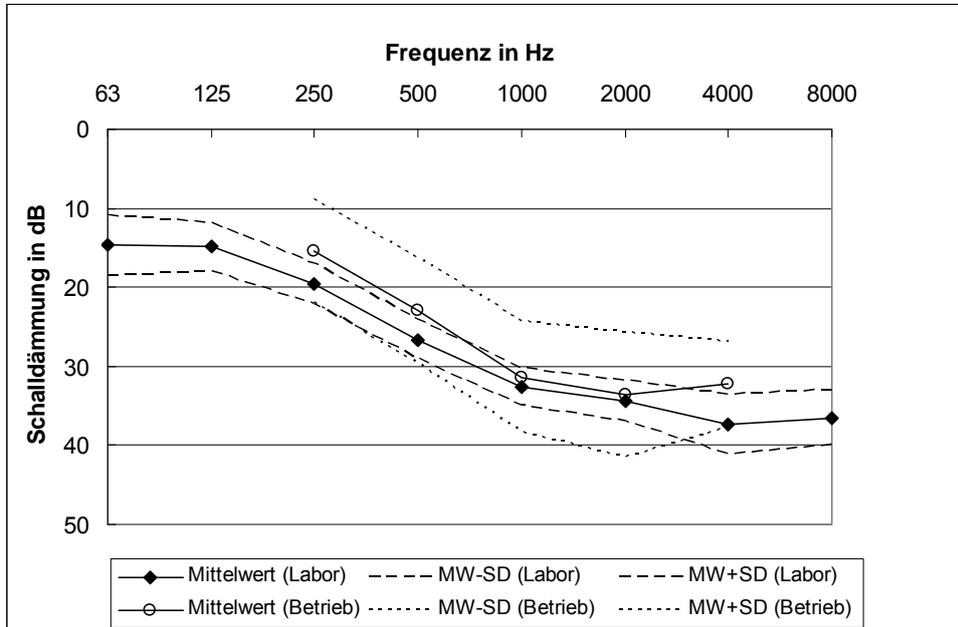
Abbildung 16:
Im Labor versus im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmwerte
für den Bügelstöpsel „E-A-R Flexicap“ (33 Datensätze)





d) Kapselgehörschützer

Abbildung 17:
Im Labor versus im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmwerte für den Kapselgehörschützer „Bilsom Viking V2“ (33 Datensätze)



e) Otoplastiken

Abbildung 18:
Im Labor versus im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmwerte für die Otoplastik „Sicom“ (60 Datensätze)

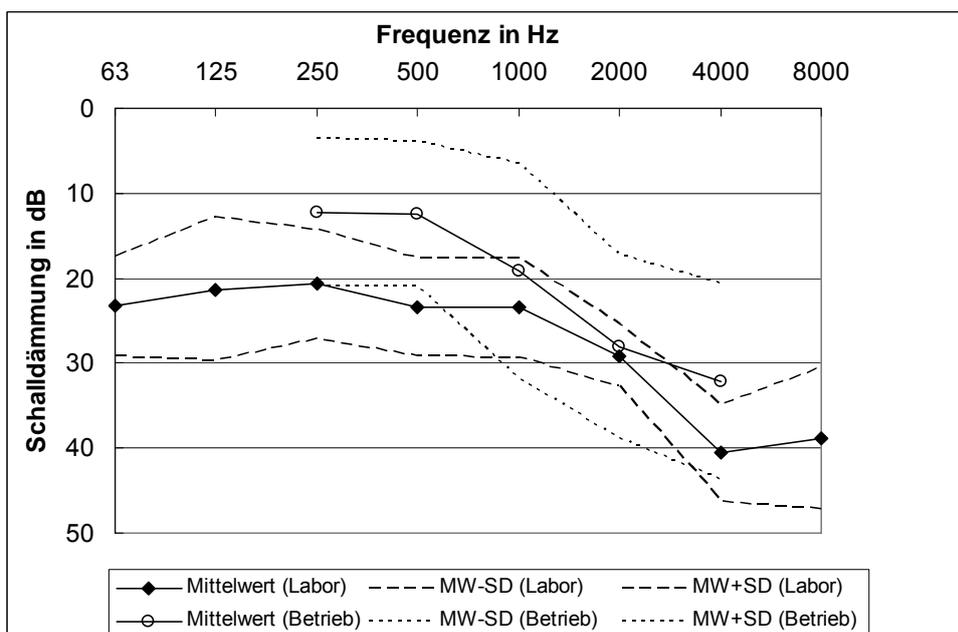




Abbildung 19:
Im Labor versus im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmwerte
für die Otoplastik „Uvex HighFit F10“ (69 Datensätze)

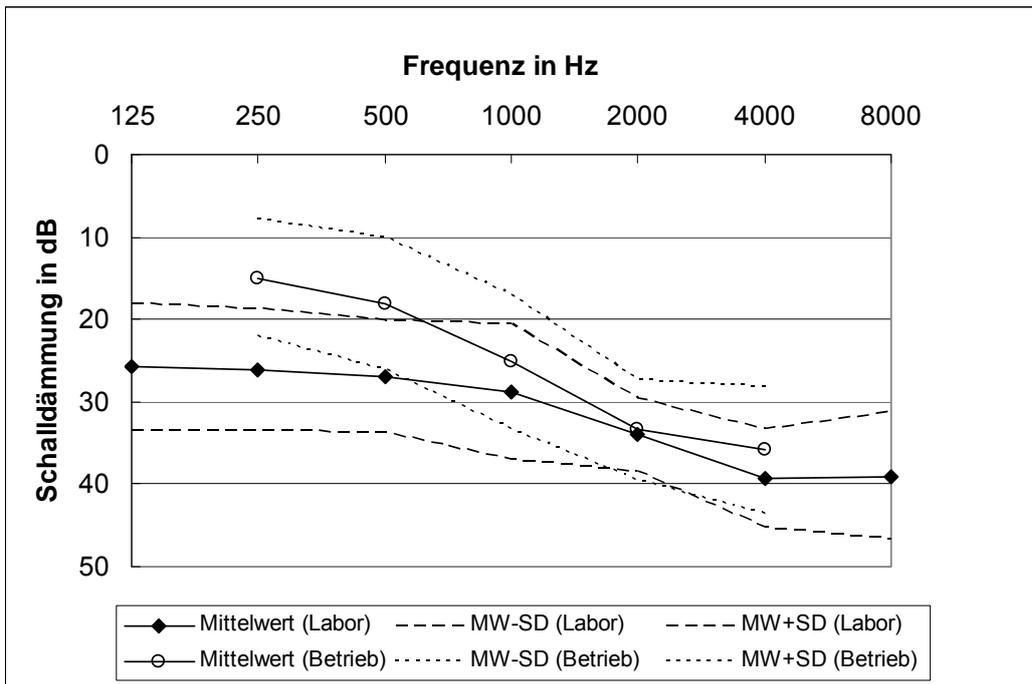
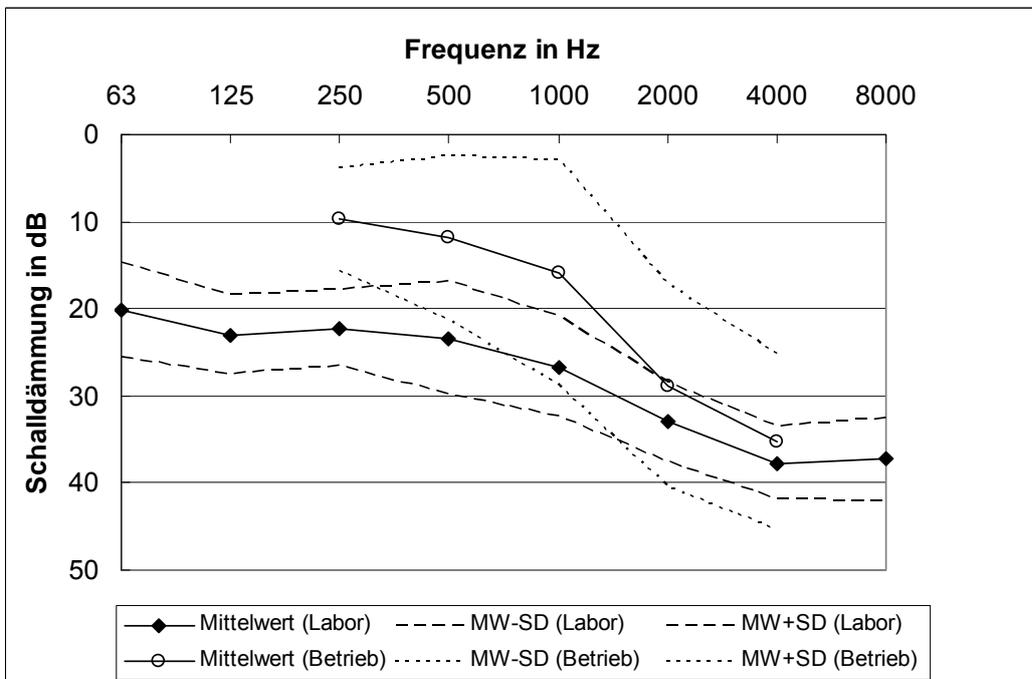


Abbildung 20:
Im Labor versus im Betrieb/Audiomobil ermittelte Schalldämmwerte
für die Otoplastik „Sonus“ (11 Datensätze)

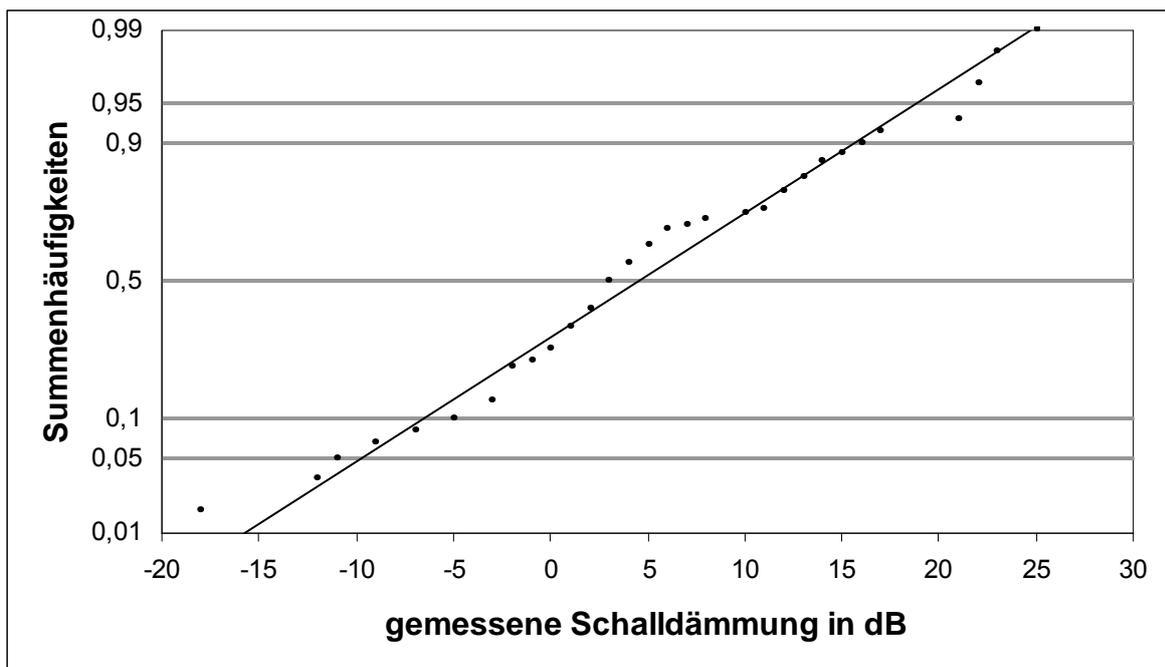




7.1.4 Ergebnisse des Tests auf Normalverteilung

Die beiden in Abschnitt 6.5 beschriebenen Methoden zur Prüfung auf Normalverteilung wurden exemplarisch auf einige Datensätze angewandt. Abbildung 21 zeigt als Beispiel die im Audiomobil gemessene Schalldämmung bei der Frequenz 250 Hz für eine Otoplastik mit 60 Einzelwerten auf Wahrscheinlichkeitspapier aufgetragen. Die Gerade entspricht einer Normalverteilung mit dem Mittelwert (4,5 dB) und der Standardabweichung (8,7 dB) der Stichprobe. Insgesamt betrachtet folgen die experimentell bestimmten Werte der Gerade, allerdings sind in manchen Bereichen auch Abweichungen zu sehen.

Abbildung 21:
Datensatz einer Otoplastik; aufgetragen ist die kumulierte Häufigkeit auf Wahrscheinlichkeitspapier, Messfrequenz: 250 Hz, Mittelwert der Stichprobe: 4,5 dB, Standardabweichung: 8,7 dB



Die statistische Behandlung mit dem Programm SPSS liefert das gleiche Ergebnis: Die Signifikanz für den Kolmogorov-Smirnov-Test liegt bei 0,325, d. h. es kann nicht signifikant ausgeschlossen werden, dass die Daten normalverteilt sind. Ein hoher Wert nahe bei 1 entspräche Daten, die beinahe perfekt normalverteilt sind und erst bei einem Wert von unter 5 % (Konfidenzniveau) könnte man annehmen, dass die Daten einer anderen Verteilung unterliegen. Eine weitere Möglichkeit, die Daten und

ihre Verteilung zu visualisieren, ist ein Histogramm mit der dazugehörigen Normalverteilung (Gaußsche Glockenkurve, siehe Abbildung 22). Auch in dieser Auftragsung sind die leichten Unterschiede zu einer Normalverteilung sichtbar.

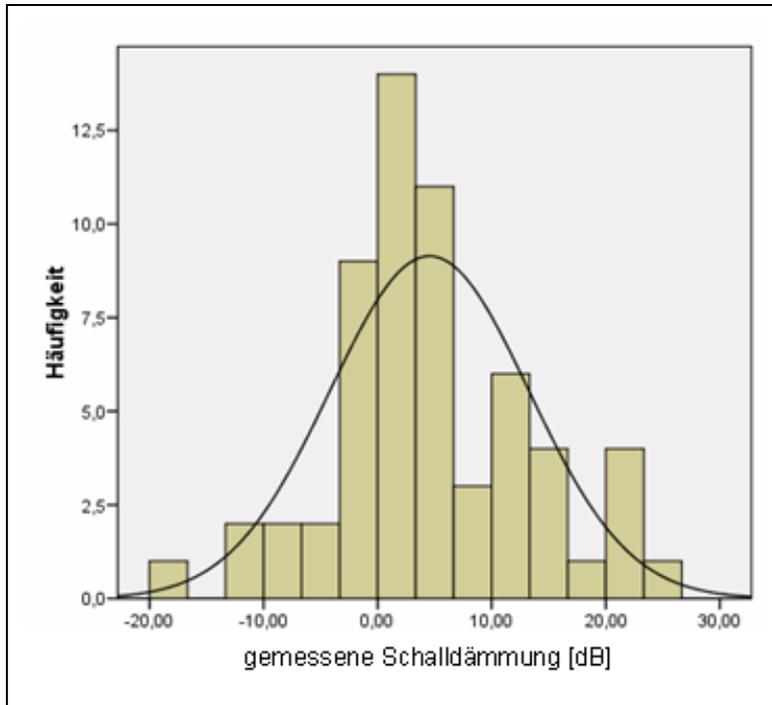


Abbildung 22:
Histogramm des Datensatzes
aus Abbildung 21 mit der aus
den Stichprobengrößen
berechneten Normalverteilung

Zweites Beispiel ist der Datensatz eines Schaumstoffstöpsels mit 74 Werten. Die Auftragsung auf Wahrscheinlichkeitspapier ist in Abbildung 23 gezeigt. Hier sind nur minimale Abweichungen von der Referenzgeraden zu erkennen. Entsprechend ergibt der Kolmogorov-Smirnov-Test eine hohe Signifikanz von 0,887. Auch im Histogramm (Abbildung 24) ist die gute Übereinstimmung mit der Normalverteilung sichtbar.

Die Auswertung der Messergebnisse mit den hier beschriebenen Methoden zeigt also, dass die Annahme, die Daten seien normalverteilt, gerechtfertigt ist. Somit können die Berechnungen zu den Praxisabschlägen (Abschnitt 7.1.3) und der t-Test (Abschnitt 7.1.5) ohne Bedenken durchgeführt werden.



Abbildung 23:

Datensatz eines Schaumstoffstöpsels; aufgetragen ist die kumulierte Häufigkeit auf Wahrscheinlichkeitspapier, Messfrequenz: 250 Hz, Mittelwert der Stichprobe: 11,0 dB, Standardabweichung: 8,4 dB

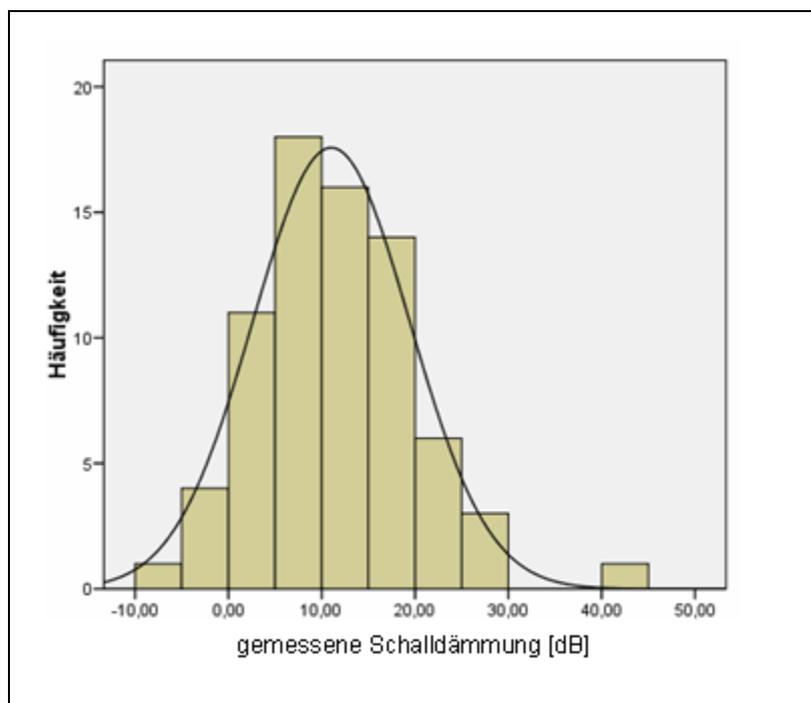
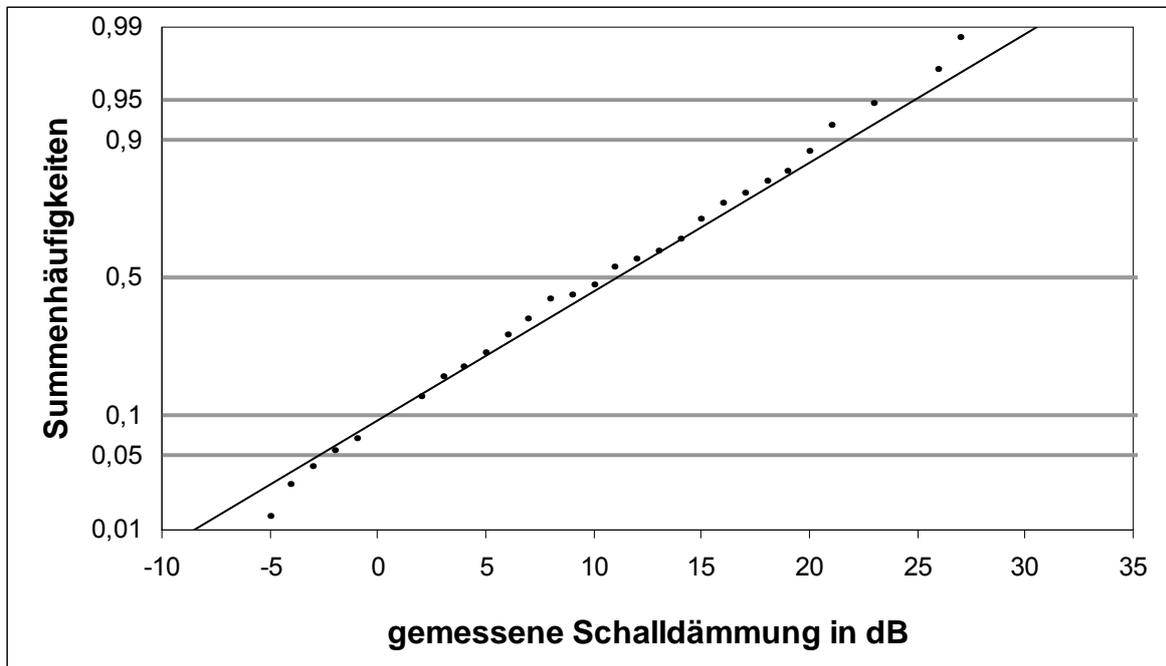


Abbildung 24:
Histogramm des Datensatzes aus Abbildung 23 mit der aus den Stichprobengrößen berechneten Normalverteilung

7.1.5 Ergebnisse des t-Tests

Mithilfe des t-Tests wurde überprüft, ob die Schalldämmwerte aus dem Audiomobil tatsächlich signifikant von den im Labor bestimmten abweichen. Dazu wurden die Daten aus dem Audiomobil für jede Frequenz mit dem entsprechenden Laborwert



verglichen, nachdem sie um den jeweils entsprechenden Korrekturwert für Effekte durch das Schallfeld (siehe Abschnitt 6.3) verringert worden waren. Dabei konnte das Verhalten, das sich anschaulich in den Abbildungen im Abschnitt 7.1.3 zeigt, bestätigt werden.

Bei 13 Datensätzen mit je fünf Messfrequenzen ergeben sich insgesamt 65 Werte. Davon liegen die Audiomobilwerte in 46 Fällen deutlich unterhalb der Laborergebnisse, d. h. die Mittelwerte sind auf dem 5%-Signifikanzniveau unterschiedlich. Für 18 Werte lässt sich keine sichere Aussage machen, diese Zahlen liegen nur knapp unterhalb ($n = 16$) oder oberhalb des Laborwertes. Diese Schalldämmwerte sind also vergleichbar groß. Ein Wert allerdings liegt mit hoher Signifikanz über der Laborschalldämmung, dieser Gehörschutz wirkt also bei der Testfrequenz besser als im Labor. Da das Ergebnis signifikant ist, kann man nicht von einem Messfehler ausgehen, allerdings findet sich auch keine Erklärung für dieses Einzelergebnis.

Betrachtet man das frequenzabhängige Verhalten der Signifikanzen, fällt auf, dass für die tiefen Frequenzen die Unterschiede zwischen Labor und Audiomobil bei fast allen Gehörschützern deutlich sind, bei den hohen Frequenzen (speziell 2 kHz) ist das Verhalten nicht mehr so eindeutig.

7.1.6 Allgemeine Diskussion

Aus den Messergebnissen und Abbildungen lassen sich verschiedene Schlussfolgerungen ziehen.

Die Abbildungen in Abschnitt 7.1.3 machen deutlich, dass die größte Differenz zwischen Labor- und Praxisschalldämmung bei tiefen Frequenzen bis 1 kHz auftritt. Dies entspricht den Erwartungen: Leckagen, wie sie durch unsachgemäßes Auf- oder Einsetzen verursacht werden, wirken sich besonders bei den tiefen Frequenzen aus. Der Effekt sollte für Frequenzen unterhalb von 250 Hz noch stärker sein, allerdings konnten diese Frequenzen im Versuchsaufbau nicht gemessen werden. Außerdem fehlen die Messwerte für 8 kHz, sodass keine frequenz aufgelöste Korrektur von Dämmwerten möglich ist.

Vergleicht man wie in Tabelle 6 (siehe Seite 46) die Differenzen zwischen Labor- und Praxisschalldämmung – gemittelt über die fünf Frequenzen und alle untersuchten



Produkte –, werden Unterschiede zwischen den einzelnen Gehörschützertypen deutlich. Für vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel ergibt sich die größte Abweichung von fast 8 dB (siehe auch Abschnitt 7.3, Seite 65).

Da für jeden Gehörschützertyp verschiedene Produkte untersucht wurden, können ihre jeweiligen Differenzen zur Laborschalldämmung auch miteinander verglichen werden. Dabei gibt es sowohl Produkte mit sehr ähnlichen Ergebnissen als auch solche mit deutlich voneinander abweichenden. Abschnitt 7.2 befasst sich näher mit diesen Beobachtungen.

7.2 Vergleichbarkeit verschiedener Gehörschützer gleichen Typs

Da die in dieser Studie bestimmten Korrekturwerte für die Schalldämmung für alle Gehörschützer anwendbar sein sollen, versuchte man, in den Feldmessungen möglichst viele verschiedene Produkte zu untersuchen. Durch die Mittelung der Werte für mehrere Produkte eines Typs sollte sich im Idealfall ein aussagekräftiger Wert ergeben. Für manche Typen sind leider nur zwei Produkte mit ausreichender Stichprobengröße vorhanden, jedoch konnten während der Laufzeit des Projekts keine weiteren Daten ermittelt werden.

Dieser Abschnitt erörtert, wie homogen die Ergebnisse für die einzelnen Gehörschützertypen sind bzw. wie stark das Resultat vom jeweiligen Produkt abhängt.

Die vor Gebrauch zu formenden Gehörschutzstöpsel sind mit fünf getesteten Produkten die größte Gruppe in dieser Studie. Die Tabellen 7 und 8 geben einen Überblick über die Abweichungen von der Laborschalldämmung. Diese Werte sind wie erwartet relativ hoch, da die aus Schaumstoff bestehenden Produkte ein besonders sorgfältiges Einsetzen erfordern (vor Gebrauch rollen, tief einsetzen, ausreichend lange fixieren), um die angestrebte Schutzwirkung zu erreichen. Für vier der fünf Stöpsel ergeben sich Abweichungen im Vergleich zum Labor von ca. 9 bis 12 dB, für ein Produkt (E-A-R Classic II) allerdings liegt der Wert nur bei 2,8 dB. Eine mögliche Erklärung ist das Material und damit auch die Oberflächenbeschaffenheit dieses Stöpsels. Er ist im Unterschied zu den anderen untersuchten Produkten aus Polyvinylchlorid (PVC) und nicht aus Polyurethan (PU) und dadurch relativ rau, sodass er



eventuell nicht so leicht wieder aus dem Gehörgang herausrutscht. Eine Nachmessung im Labor des BGIA unter den Bedingungen einer Baumusterprüfung mit nachgekauften Mustern des E-A-R Classic II ergab höhere Werte der Laborschalldämmung, sodass sich damit eine größere Differenz zwischen Labor- und Audiomobilwerten ergäbe. Allerdings handelte es sich nur um eine Stichprobenmessung, nicht um eine vollständige Bestimmung nach DIN ISO 4869-1. Insgesamt ergibt sich für die fünf Produkte dieser Kategorie ein gewogener Mittelwert von 7,8 dB, den auch die Daten aus der Nachmessung nur wenig beeinflussen würden.

In der nächsten Gruppe, fertig geformte Gehörschutzstöpsel zum mehrfachen Gebrauch, wurden zwei Produkte mit ausreichender Stichprobengröße untersucht. Sowohl die Dämmwerte im Labor als auch die im Audiomobil liegen nah beieinander, sodass die Korrekturwerte für beide Stöpsel sehr ähnlich sind (5,2 dB bzw. 4,4 dB).

In der Kategorie Bügelstöpsel konnten ebenfalls zwei Produkte für die Auswertung berücksichtigt werden. Sie weisen ähnliche Laborwerte auf, die Ergebnisse aus dem Audiomobil unterscheiden sich allerdings stärker. Die über die Frequenzen gemittelte Abweichung beträgt im Mittelwert 0,4 dB für den Bilsom PerCap bzw. 7,7 dB für den E-A-R Flexicap (mit Kinnbügel getragen). Als einzige Besonderheit ist zu nennen, dass die Korrekturwerte für das Schallfeld im Audiomobil durch Vergleichsmessungen mit dem PerCap über ermittelt wurden (siehe Abschnitt 6.3). Es ist aber nicht zu erwarten, dass die Bestimmung der Korrekturwerte fehlerhaft ist, da sich bei gleichem Versuchsablauf für Kapselgehörschützer ein konsistentes Bild für die verschiedenen Messsituationen ergab. Der gewogene Mittelwert aus den beiden Datensätzen beträgt 4,5 dB.

Für die Gruppe der Kapselgehörschützer wurden Daten zu sechs Produkten ermittelt, aber nur zwei Stichproben wiesen eine ausreichende Größe auf. Es war in der Tat schwierig, Betriebe zu finden, in denen Kapselgehörschützer in größerer Zahl verwendet werden. Für die beiden Produkte ergibt sich ein sehr uneinheitliches Bild. Der Gehörschützer, mit dem die Korrekturwerte für das Schallfeld im Audiomobil ermittelt wurden (siehe Abschnitt 6.3), weist auch nach der Korrektur eine Differenz zum Laborwert von 3,0 dB auf. Für das andere Produkt jedoch erhält man eine negative Abweichung von -2,2 dB, d. h. die im Audiomobil bestimmte Dämmung (einschließlich Korrektur) ist besser als die in der Baumusterprüfung ermittelte. Geht man davon aus,



dass die Laborschalldämmung die bestmögliche ist und somit die Differenz zum Audiomobilwert nicht kleiner als Null werden kann, kann der hier ermittelte Wert ein Anhaltspunkt für die Unsicherheit des Verfahrens sein. Allerdings sind die Abweichungen für die Frequenzen 1 und 2 kHz relativ groß und nach dem t-Test signifikant. Deswegen wurde sowohl im Betrieb nochmals die Artikelbezeichnung überprüft als auch die Schalldämmung mit gekauften Mustern im Labor nachgemessen. Da sich dabei keine Abweichungen zu den vom Hersteller angegebenen Laborwerten ergaben, ist nicht nachvollziehbar, wodurch die starke Diskrepanz zwischen Audiomobil und Labor verursacht wird. Daher wurde dieser Datensatz nicht für die Auswertung berücksichtigt. Ein Vergleich mit den Ergebnissen der ersten Studie [4] zeigt, dass sich auch damals für Kapselgehörschützer in der Praxis eine deutlich reduzierte Schalldämmung ergeben hat (Mittelwert 4,5 dB). Der jetzt bestimmte Wert von 3,0 dB liegt also im selben Bereich.

Für Otoplastiken liegen fünf Datensätze vor, allerdings konnten nur drei davon ausgewertet werden, da für ein Produkt nicht ermittelt werden konnte, welcher Filter verwendet wurde, und ein zweites mit insgesamt sechs verschiedenen Filtern vertreten war, sodass für jeden Filter nur einzelne Datensätze vorlagen. Zwei Stichproben mit 60 bzw. 69 Messungen weisen gemittelte Abweichungen von der Laborschalldämmung von 6,7 dB bzw. 5,5 dB auf. Der dritte Datensatz mit nur elf Messungen ergibt eine Differenz von 8,3 dB, fällt aber aufgrund seiner geringen Größe bei der Mittelung nicht stark ins Gewicht, sodass sich der Mittelwert für diesen Gehörschützertyp zu 6,0 dB ergibt. In allen drei Fällen handelt es sich um Produkte, deren Passform bei der Auslieferung (oder kurze Zeit danach) nicht durch eine Fachkraft und eine geeignete Messmethode überprüft wurde. Es ist davon auszugehen, dass eine solche Funktionskontrolle im Mittel zu einer besseren Schalldämmung führen sollte (siehe Abschnitt 7.4, Seite 66).

7.3 Einfluss des Gehörschützertyps auf die Schalldämmung in der Praxis

Tabelle 6 (siehe Seite 46) zeigt, dass es bei der Differenz aus Labor- und Praxis-schalldämmung deutliche Unterschiede zwischen den Gehörschützertypen gibt. Die Werte bestätigen die erste Studie des BGIA [4] zu diesem Thema.



Die Gehörschützer mit der größten Abweichung zwischen Labor und Betrieb sind vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel mit einem Wert von 7,8 dB, wobei einzelne Produkte auch Differenzen von mehr als 10 dB aufweisen. Die anderen Arten von Gehörschutzstöpseln lassen sich im Betrieb anscheinend besser einsetzen als die aus Schaumstoff, denn fertig geformte Stöpsel und Bügelstöpsel erreichen nur Differenzen von 5,0 dB bzw. 4,5 dB.

Die erste Studie unterschied nicht nach verschiedenen Typen von Gehörschutzstöpseln und es ergab sich ein Abschlag von 9 dB. Die neuen Ergebnisse zeigen, dass sich die Situation für Stöpsel aus Schaumstoff nicht geändert hat; offensichtlich machen die Benutzer hier die meisten Fehler. Die anderen Arten von Stöpseln (fertig geformte sowie Bügelstöpsel) müssen vor dem Einsetzen in den Gehörgang nicht geformt werden. Außerdem ist es nicht notwendig, dass der Benutzer sie einige Zeit im Gehörgang fixiert. Dadurch lassen sich die geringeren Abweichungen zur Laborschalldämmung erklären. Allerdings sind diese Abweichungen mit jeweils ca. 5 dB nicht vernachlässigbar: Auch hier sind die Benutzer zu sorgfältigem Einsetzen anzuhalten.

Auch für Kapselgehörschützer ergaben sich signifikante Abweichungen zwischen Labor- und Praxisschalldämmung. Da aber nur ein Produkt untersucht wurde, für das eine Auswertung der Daten möglich war, ist keine quantitative Aussage möglich. Der Korrekturabschlag von 5 dB aus der ersten Studie steht mit den neuen Daten im Einklang.

Bei Otoplastiken ergibt sich eine Differenz zur Laborschalldämmung von 6,0 dB, was etwas über den Werten für fertig geformte Stöpsel liegt. Da 1989, zum Zeitpunkt der ersten Studie, Otoplastiken in Deutschland noch nicht weit verbreitet waren, liegen keine Vergleichsdaten vor. Auf die Besonderheit bei dieser Produktgruppe (Wird regelmäßig die Dichtigkeit überprüft?) geht der nächste Abschnitt ein.

7.4 Sonderfall Otoplastiken: Notwendigkeit der Funktionskontrolle

Otoplastiken unterscheiden sich durch ein wichtiges Merkmal von allen anderen Gehörschutztypen: Sie werden individuell nach dem Gehörgang des Benutzers gefertigt. Aus einem Abdruck des Ohrkanals wird ein Gehörschutzstöpsel hergestellt,



der nur in diesen einen Gehörgang passt – ihn aber auch vollständig verschließen soll. Die Schalldämmung der Otoplastik ergibt sich bei einigen Produkten aus der Dämmwirkung des eingebauten Filters und lässt sich so in gewissem Rahmen je nach Lärmbelastung auswählen.

Ob eine Otoplastik dicht sitzt, hängt somit im Normalfall nicht von der Sorgfalt beim Einsetzen ab, sondern von der richtigen Passform. Bei der Herstellung können in einer signifikanten Anzahl von Fällen Fehler auftreten [12], die dazu führen, dass der Gehörgang nicht komplett verschlossen wird. Neben Ungenauigkeiten bei der Fertigung kommen dafür Probleme bei der Abdrucknahme infrage, wie z. B. Luft einschüsse in der Abdruckmasse, Einspritzen der Masse mit zu viel Druck oder Reden, Kauen, Mimik und Schlucken der Versuchsperson, während die Masse aushärtet. Zusätzlich kann auch eine nach der Herstellung dicht sitzende Otoplastik mit der Zeit undicht werden, da sich die Form des Gehörgangs im Laufe einiger Jahre ändern kann. Da diese Reduzierung der Schalldämmung kontinuierlich erfolgt, nimmt man sie normalerweise nicht wahr.

Damit Beschäftigte keine Otoplastiken tragen, die nicht die gewünschte Schalldämmung erreichen, muss deren Dichtigkeit überprüft werden [6]. Dazu stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Alle in dieser Studie untersuchten Produkte wurden nicht durch eine Funktionskontrolle überprüft. Damit ist es hier nicht möglich, beide Arten von Otoplastiken miteinander zu vergleichen.

Der ermittelte Korrekturwert von 6,0 dB gilt für Produkte, die nicht regelmäßig überprüft werden. Er liegt etwas höher als der für fertig geformte Gehörschutzstöpsel, was zeigt, dass die Zuverlässigkeit solcher Otoplastiken höchstens so gut ist wie die von Stöpseln, die nicht individuell an den Benutzer angepasst werden. Bei regelmäßiger Funktionskontrolle ist eine niedrigere Abweichung zur Laborschalldämmung zu erwarten.

7.5 Konsequenzen für die Gehörschützerwahl

Nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [1] dürfen die maximal zulässigen Expositionswerte am Ohr der Beschäftigten nicht überschritten werden, wobei die dämmende Wirkung von Gehörschutz berücksichtigt wird. Um der ver-



ringerten Schalldämmung in der Praxis Rechnung zu tragen, legte der Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstung“ nach Inkrafttreten der Verordnung folgende Korrekturabschläge fest [13], die auf der ersten Studie des BGIA [4] basierten:

- 9 dB für Gehörschutzstöpsel,
- 5 dB für Kapselgehörschützer und
- 3 dB für Otoplastiken mit regelmäßiger Funktionskontrolle.

Gleichzeitig initiierte der Fachausschuss die vorliegende Studie zur Aktualisierung der Werte.

Mit den neu gewonnenen Daten werden in Anlehnung an die bisherigen Werte folgende differenziertere Abschläge vorgeschlagen:

- 9 dB für vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel,
- 5 dB für fertig geformte Gehörschutzstöpsel,
- 5 dB für Bügelstöpsel,
- 5 dB für Kapselgehörschützer,
- 3 dB für Otoplastiken mit regelmäßiger Funktionskontrolle,
- 6 dB für Otoplastiken ohne Funktionskontrolle,
- 9 dB für Kombinationen aus Kapselgehörschutz und Gehörschutzstöpseln.

Diese Korrekturwerte berücksichtigen, dass vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel oft deutlich schlechter eingesetzt werden als fertig geformte.

Außerdem wird der geringere Abschlag für Otoplastiken mit regelmäßiger Funktionskontrolle dazu führen, nur solche Produkte zu beschaffen, für die der Hersteller diesen Service anbietet.

Qualifizierte Benutzung: Die reduzierte Praxisschalldämmung kann an speziellen Arbeitsplätzen zu Problemen führen, falls sehr hohe Schallpegel auftreten oder Signalhören erforderlich ist. Bei extremen Expositionspegeln, wie sie z. B. beim CO₂-Strahlen vorliegen, müssen Gehörschützer mit der höchsten verfügbaren Dämmung (und eventuell doppelter Gehörschutz, also Stöpsel plus Kapselgehörschützer)



verwendet werden, um den maximal zulässigen Expositionswert einzuhalten. Bei den üblichen Leckagen, die sich in den Praxisabschlägen zeigen, reicht die resultierende Dämmung unter Umständen nicht mehr aus. In diesen Ausnahmefällen muss also durch geeignete Unterweisungen (siehe Abschnitt 7.6) sichergestellt werden, dass die Laborschalldämmung auch im Betrieb erreicht wird [14]. Dann ist es nach Festlegung des Fachausschusses „Persönliche Schutzausrüstung“ [15] möglich, auf die Korrekturabschläge zu verzichten.

Ein ähnliches Problem ergibt sich für das Hören von Signalen. Darunter fallen Sprache, informationshaltige Arbeitsgeräusche, Warnsignale allgemein, aber auch spezielle Fälle wie im Gleisoberbau oder für Fahrzeugführer im Straßenverkehr. Für diese speziellen Fälle gibt es zusätzliche Regelungen zur Zulassung und Verwendung von Gehörschutz. Die Eignung eines Gehörschützers für das Wahrnehmen von Signalen wird aufgrund der Laborwerte der Schalldämmung zuerst rechnerisch bestimmt. Verändert ein schlechter Sitz die Dämmung maßgeblich, kann man nicht mehr davon ausgehen, dass diese Eigenschaft erhalten bleibt. Zur Signalwahrnehmung gut geeignet sind generell Gehörschützer mit einer möglichst frequenzunabhängigen Dämmkurve. Im Gegensatz dazu führen Produkte mit niedrigen Dämmwerten für tiefe Frequenzen durch psychoakustische Effekte zur Verdeckung von Signalanteilen auch bei höheren Frequenzen. Da fehlerhaftes Auf- bzw. Einsetzen von Gehörschutz vor allem die tiefen Frequenzen stärker durchlässt (siehe Grafiken in Abschnitt 7.1.3), können diese Verdeckungseffekte auch für Produkte auftreten, die laut Baumusterprüfung eine flache Dämmkurve haben. Somit sollten Beschäftigte, für die korrektes Signalthören sehr wichtig ist, entsprechend in der Benutzung ihres Gehörschutzes unterwiesen werden, sodass die Praxisabschläge nicht angewendet werden müssen. Kontrollieren kann man die Signalwahrnehmbarkeit mit einem Gehörschützer vor Ort durch eine Hörprobe, die für bestimmte Arbeitsplätze auch vorgeschrieben ist.

Umsetzung der Ergebnisse: Der Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstung“ hat die Korrekturwerte, die sich aus dieser Studie ergeben, bereits als Praxisabschläge umgesetzt und in seine Veröffentlichungen übernommen. Diese Informationsschriften umfassen neben Handlungsanleitungen, die auf den Internetseiten des Fachausschusses bereitgestellt werden [15], vor allem BG/GUV-Schriften wie die



BGR 194 [5], die BGI 5024 [16] und die BGI 8621 [17]. Diese Veröffentlichungen richten sich jeweils an bestimmte Zielgruppen, z. B. Aufsichtspersonen, Sicherheitsfachkräfte, kleine und mittlere Unternehmen oder die Beschäftigten selbst.

Des Weiteren sind die Praxisabschläge in der Software zur Gehörschützerauswahl des BGIA [18] berücksichtigt, die von den Internetseiten des BGIA heruntergeladen werden kann. Besonders zu erwähnen ist dabei ein Programm für Orchestermusiker [19], das den Benutzer bei der Ermittlung eines Expositionspegels und eines geeigneten Gehörschutzes unterstützt.

International existieren verschiedene Methoden, der reduzierten Praxischalldämmung Rechnung zu tragen (siehe Kapitel 3, Seite 19). Bei der Überarbeitung der Norm DIN EN 458 soll auch die Notwendigkeit von Abschlägen berücksichtigt werden, dabei könnten die unterschiedlichen Methoden in einem informellen Anhang zusammengestellt werden.

7.6 Konsequenzen für die Unterweisung zur Benutzung von Gehörschutz

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass für keinen Gehörschützertyp im Mittel die im Labor ermittelte Schalldämmung auch in der Praxis erreicht wird. Viele Ursachen für diese reduzierte Schalldämmung sind auf Fehler bei der Benutzung zurückzuführen (Kapitel 2, Seite 15). Aus diesem Grund ist es notwendig, bei der Unterweisung der Beschäftigten im Betrieb besonderen Wert auf die korrekte Benutzung von Gehörschutz zu legen. Die bekannten Fehlerquellen sollten genannt und das richtige Verhalten demonstriert werden. Die wirkungsvollste Maßnahme jedoch sind Übungen, bei denen die Beschäftigten unter Aufsicht ihren Gehörschützer ein- bzw. aufsetzen. Gerade bei vor Gebrauch zu formenden Stöpseln ist regelmäßiges Training notwendig, um die einzelnen Schritte (Rollen, Einsetzen und Fixieren) zuverlässig zu beherrschen.

Qualifizierte Benutzung: Wie in Abschnitt 7.5 beschrieben, ist es an manchen Arbeitsplätzen notwendig, die Laborschalldämmung zu erreichen. Die Praxisabschläge können vernachlässigt werden, wenn spezielle Unterweisungen sicherstellen, dass die Laborwerte der Schalldämmung erreicht werden [14]. Der Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstung“ hat dazu festgelegt [5; 15], dass mindestens



viermal jährlich Übungen durchgeführt werden müssen, bei denen die korrekte Verwendung des Gehörschutzes auch kontrolliert wird.

Überprüfung der Schutzwirkung: Um festzustellen, ob ein Gehörschutz richtig verwendet wird, kann der Einsatz kommerziell erhältlicher Prüfsysteme zur Bestimmung der individuellen Schalldämmung eines Gehörschützers (meist Gehörschutzstöpsel) hilfreich sein [20]. Dazu entwickelten Gehörschutzhersteller verschiedene Messmethoden, z. B. die Messung des Schalldruckpegels mit einem Miniaturmikrofon unter dem Gehörschutz im Gehörgang, die Bestimmung der Hörschwellen mit und ohne Gehörschutz ähnlich der Baumusterprüfung oder der Lautheitsvergleich zwischen beiden Ohren mit und ohne Gehörschutz. Bei all diesen Systemen muss man natürlich die Unsicherheit des Ergebnisses berücksichtigen, die sich z. B. aus Messunsicherheiten oder der Reproduzierbarkeit subjektiver Methoden ergibt. Gegenwärtig ist es noch nicht möglich, mit diesen Prüfsystemen absolute Werte der Schalldämmung zu ermitteln; es ist bisher nur der Vergleich mit Referenzwerten des jeweiligen Herstellers aussagekräftig. Solche Systeme bieten die Möglichkeit, dem Benutzer die Auswirkungen schlecht eingesetzter Gehörschutzstöpsel vor Augen zu führen. Gleichzeitig erhält er eine Rückkopplung über den Erfolg von Unterweisung und Training, wenn die Schalldämmung verbessert wird, sodass auch die Motivation steigen dürfte, die Anweisungen sorgfältig umzusetzen.

7.7 Konsequenzen für die arbeitsmedizinische Vorsorge

Auch bei den arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen (siehe z. B. BGI 823 [21]) sollte die korrekte Benutzung von Gehörschutz besprochen werden. Den Beschäftigten sollte bewusst sein, wie groß die Reduzierung der Schutzwirkung sein kann, wenn sie den Gehörschutz nicht ordnungsgemäß benutzen. Um dies zu verdeutlichen, kann auch hier der Einsatz von Gehörschutz-Prüfsystemen (siehe Abschnitt 7.6) sinnvoll sein. Eventuell kann der Arbeitsmediziner auch die Verwendung eines solchen Systems für die Unterweisung der Beschäftigten durch den Arbeitgeber empfehlen, wobei natürlich immer die oben erwähnten Einschränkungen dieser Geräte zu berücksichtigen sind.

Treten sehr hohe Expositionspegel auf, kann es sinnvoll sein, eine qualifizierte Benutzung (siehe Seite 68) zu empfehlen, um auf die Praxisabschläge verzichten zu



können. Ist aus medizinischen Gründen ein Wechsel des Gehörschutztyps indiziert, z. B. von Kapselgehörschutz auf Gehörschutzstöpsel, können andere Praxisabschlüsse notwendig sein. Der Arbeitsmediziner sollte den Arbeitgeber in einem solchen Fall darauf hinweisen, dass eine neue Gefährdungsbeurteilung nötig sein kann.

Zwei weitere wichtige Aspekte, die zur Reduzierung der Schalldämmung führen können, sollten ebenfalls angesprochen werden: Tragedauer und die Alterung des Gehörschutzes. Schon einige kurze Tragepausen während der Arbeitsschicht können die effektive Dämmung signifikant reduzieren, sodass unter Umständen am Ohr Pegel über dem maximal zulässigen Expositionswert auftreten. Gehörschützer, deren Eigenschaften sich durch Gebrauch oder Lagerung verändert haben, können eine geringere Schalldämmung aufweisen, z. B. durch defekte Dichtungskissen bei Kapselgehörschützern oder verhärtetes Material von Gehörschutzstöpseln. Dieses Thema wurde in der Vorgängerstudie des BGIA [4] untersucht, aber auch von anderen Instituten [22]. Durch Sichtkontrolle des verwendeten Gehörschutzes während der arbeitsmedizinischen Vorsorge können solche Mängel entdeckt und behoben werden.

Vor allem für Beschäftigte, bei denen schon eine Hörminderung vorliegt, ist ein ausreichender Schutz des Gehörs unabdingbar. In diesen Fällen werden Otoplastiken empfohlen, deren Schutzwirkung regelmäßig überprüft werden muss. Damit lässt sich eine zuverlässige Schalldämmung erreichen.



8 Literaturverzeichnis

- [1] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I (2007), S. 261
- [2] *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.; Henederson, D.; Salvi, R. J.* (Hrsg.): Scientific basis of noise-induced hearing loss. Chapter 29, S. 361-377. Thieme, New York (1996)
- [3] *Neitzel, R.; Seixas, N.:* The effectiveness of hearing protection among construction workers. *J. Occup. Environm. Hyg.* (2005) Nr. 2, S. 227-238
- [4] *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
- [5] Berufsgenossenschaftliche Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Benutzung von Gehörschutz (BGR/GUV-R 194). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2008. Carl Heymanns, Köln 2008. www.arbeitssicherheit.de/arbeitssicherheit/html/modules/bgr150199/150-199/bgr194.pdf
- [6] Otoplastik – ein spezieller Gehörschutz. BGIA-Info 7/2000. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin 2000
- [7] *Trompette, N.; Canetto, P.:* International practise about „real world“ exposure beneath HPD. Hrsg.: Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Vandoeuvre, Frankreich 2007
- [8] Criteria for a recommended standard: Occupational noise exposure (Revised criteria 1998). NIOSH-Publication 98-126. Hrsg.: U.S. Department of Health and Human Services (NIOSH)
- [9] *Gozzo, J.; Thiery, L.; Canetto, P.:* Application de la réglementation sur le bruit et usage de protecteurs individuels contre le bruit (PICB) – Recommandation de l'INRS. Fiche pratique de sécurité, ed. 133. Hrsg.: Institut de Recherche et de Sécurité (INRS), Vandoeuvre, Frankreich 2008 www.inrs.fr/htm/application_la_reglementation_sur_bruit_usage.html
- [10] DIN ISO 4869-1: Akustik – Gehörschützer – Subjektive Methode zur Messung der Schalldämmung (10/1991). Beuth, Berlin 1991
- [11] *Sachs, L.:* Angewandte Statistik – Anwendung statistischer Methoden. 9. Aufl. Springer, Heidelberg 1999
- [12] *Weiß, R.:* Studie zur Schutzwirkung von Gehörschutz-Otoplastiken. Präventionsbericht 2/2006. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Metall Süd, Mainz 2006



- [13] *Sickert, P.*: Gehörschutz neu geregelt. In: *Noetel, K.-H.* (Hrsg.): Handbuch Persönliche Schutzausrüstung. 75. Erg.-Lfg. 11/07. ecomed, Landsberg am Lech – 1979
- [14] *Sickert, P.*: Verbesserte Unterweisung zur Benutzung von Gehörschutz. *sicher ist sicher – Arbeitsschutz aktuell* (2006) Nr. 6, S. 294
- [15] Handlungsanleitung zur Auswahl von Gehörschutz. FA „PSA“ Information zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 18. Juni 2007. Hrsg.: Fachausschuss Persönliche Schutzausrüstung der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin 2007.
www.hvbg.de/d/fa_psa/sach/gehorsch/hand_gehoer.pdf
- [16] Berufsgenossenschaftliche Information: Gehörschutz-Informationen (BGI 5024). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2007. Carl Heymanns, Köln 2007.
www.arbeitssicherheit.de/arbeitssicherheit/html/modules/bgi50005099/5000/bgi5024.pdf
- [17] Berufsgenossenschaftliche Information: Gehörschutz-Kurzinformationen (BGI/GUV-I 8621). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2008. Carl Heymanns, Köln 2008.
www.arbeitssicherheit.de/arbeitssicherheit/html/modules/bgi8000/8000/bgi8621.pdf
- [18] Software zur Auswahl von Gehörschützern. Hrsg.: BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin.
www.dguv.de/bgia, Webcode: d4785
- [19] Gehörschutz – Auswahlprogramm für Orchestermusiker. Hrsg.: BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin.
www.dguv.de/bgia, Webcode: d12882
- [20] *Dantscher, S.*: Methods for the determination of individual sound attenuation of ear plugs. Vortrag NAG/DAGA 2009, Rotterdam (Tagungsband in Vorbereitung)
- [21] Berufsgenossenschaftliche Information: Ärztliche Beratung zum Gehörschutz (BGI 823). Aktualisierte Onlinefassung Mai 2008. Hrsg.: Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstungen“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Berlin 2008. Carl Heymanns, Köln 2009.
www.arbeitssicherheit.de/arbeitssicherheit/html/modules/bgi800849/800-849/bgi823.pdf
- [22] *Kotarbinska, E.*: The influence of aging on the noise attenuation of ear-muffs. *Noise Health* 7 (2005) Nr. 26, S. 39-45



Anhang:

Grafische Darstellung der im Audiomobil gemessenen Rohdaten

Die folgenden Abbildungen zeigen die Rohdaten, wie sie im Audiomobil gemessen wurden. Insbesondere ist – anders als in den Abbildungen in Abschnitt 7.1.3 – die Schallfeldkorrektur nach Abschnitt 6.3 nicht berücksichtigt.

Die Darstellung orientiert sich an sog. Box-Whisker-Plots und enthält verschiedene Informationen über die Verteilung der Daten. Gezeigt sind für jede Frequenz jeweils der Median als waagerechter Strich, das 25. und 75. Perzentil als dicker senkrechter Strich sowie das 5. und 95. Perzentil als dünner senkrechter Strich.

Durch diese Art der Auftragung werden einige Charakteristika der gemessenen Verteilungen deutlich, z. B. die (un-)symmetrische Anordnung der Daten um den Median oder der Anteil der Messwerte, der an den Rändern der Verteilung liegt (z. B. zwischen dem 75. und 95. Perzentil).

Da für die Beschreibung der Schalldämmwerte aus der Baumusterprüfung immer Mittelwert und Standardabweichung verwendet werden, wurde dies für die Auswertung der Audiomobilmesswerte übernommen. Da Mittelwert und Standardabweichung in den Abbildungen in diesem Anhang nicht eingezeichnet sind, ergeben sich (zusätzlich zur fehlenden Schallfeldkorrektur) Unterschiede zwischen den Abbildungen in diesem Anhang und denen in Abschnitt 7.1.3.



Abbildung A.1:
 Median, 5., 25., 75. und 95. Perzentil der im Audiomobil gemessenen Rohdaten für den vor Gebrauch zu formenden Gehörschutzstöpsel „Moldex Spark Plugs“ (88 Datensätze)

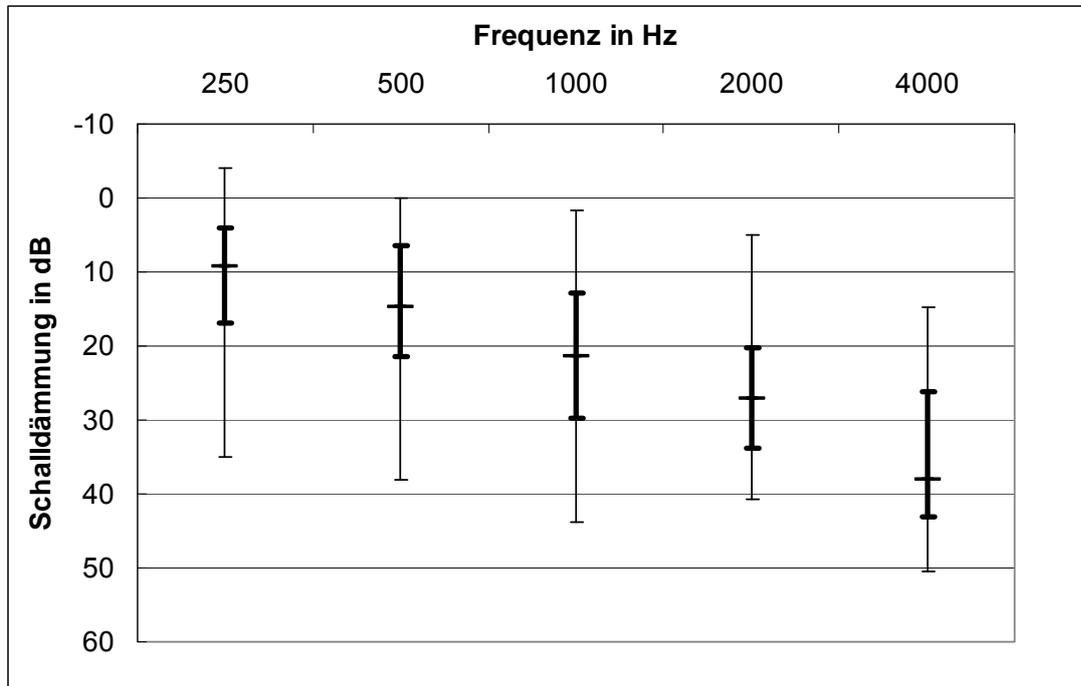


Abbildung A.2:
 Median, 5., 25., 75. und 95. Perzentil der im Audiomobil gemessenen Rohdaten für den vor Gebrauch zu formenden Gehörschutzstöpsel „E-A-R Classic II“ (74 Datensätze)

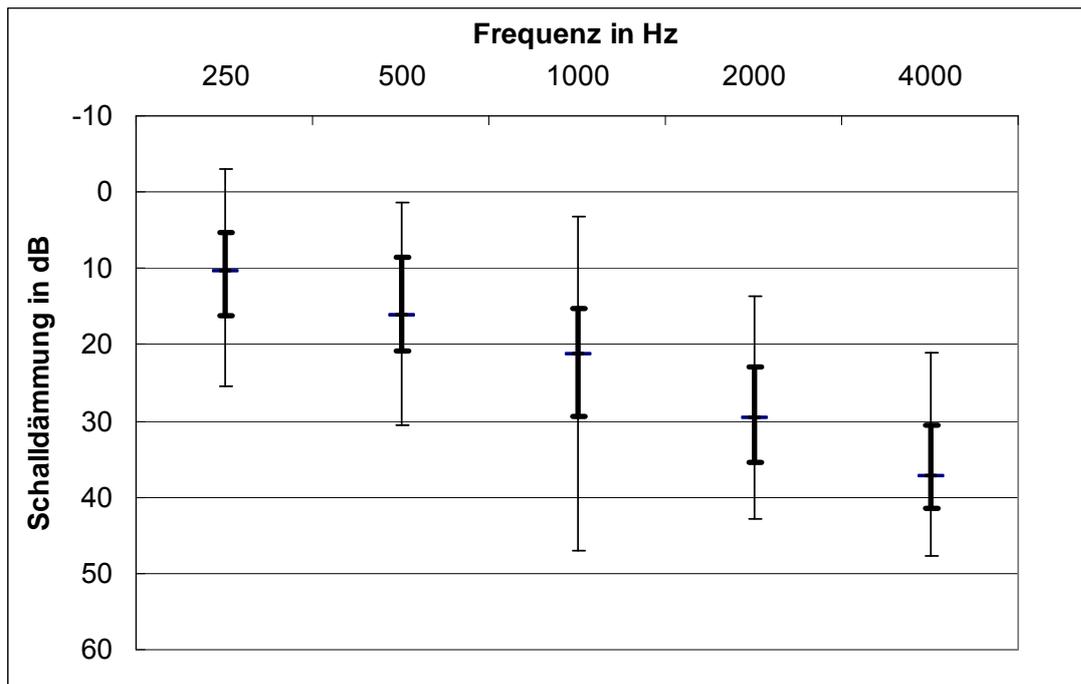




Abbildung A.3:
 Median, 5., 25., 75. und 95. Perzentil der im Audiomobil gemessenen Rohdaten für den vor Gebrauch zu formenden Gehörschutzstöpsel „Howard Leight MaxLite“ (37 Datensätze)

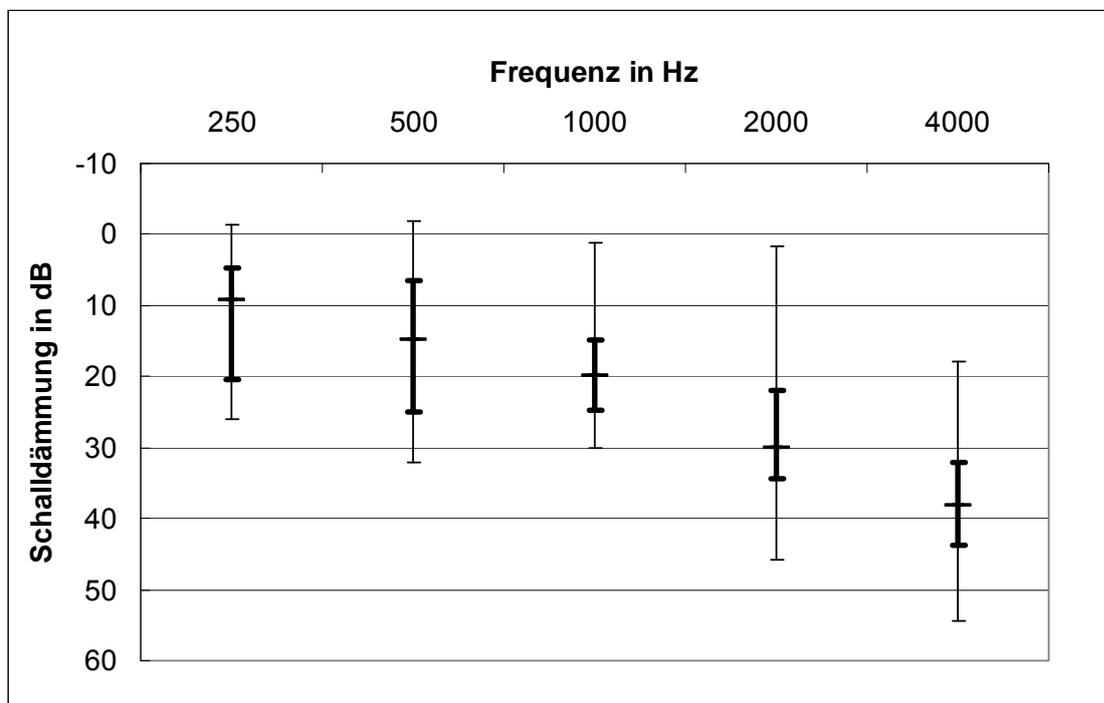


Abbildung A.4:
 Median, 5., 25., 75. und 95. Perzentil der im Audiomobil gemessenen Rohdaten für den vor Gebrauch zu formenden Gehörschutzstöpsel „Bilsom 303“ (38 Datensätze)

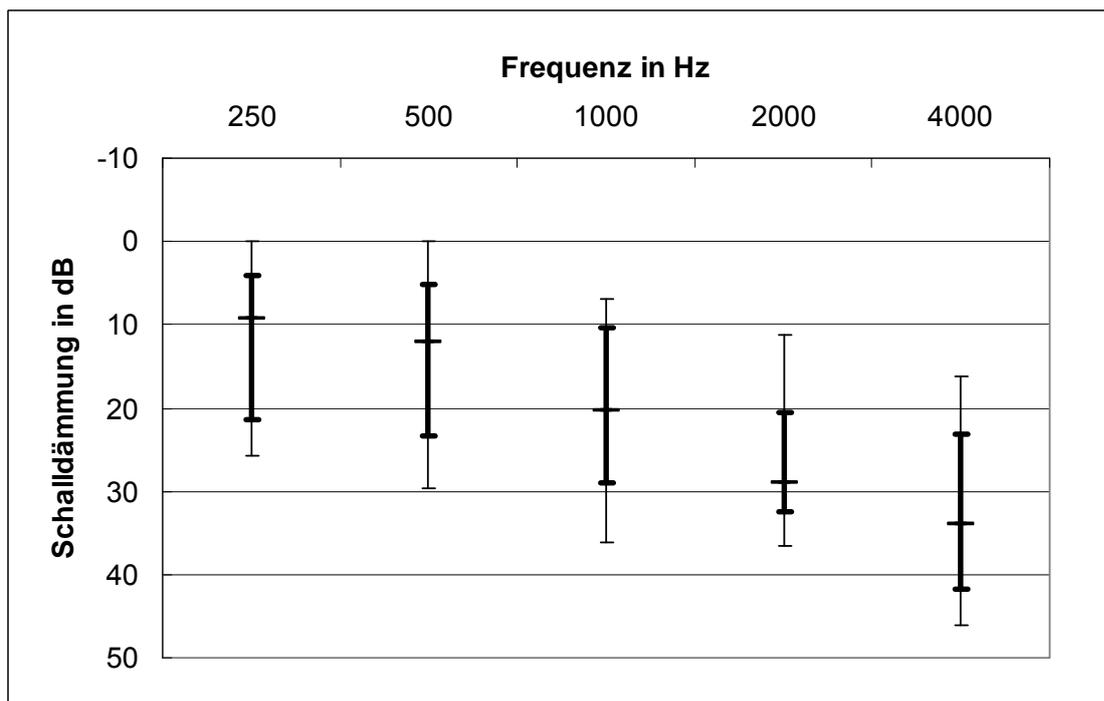




Abbildung A.5:
 Median, 5., 25., 75. und 95. Perzentil der im Audiomobil gemessenen Rohdaten für den vor Gebrauch zu formenden Gehörschutzstöpsel „Howard Leight MultiMax“ (25 Datensätze)

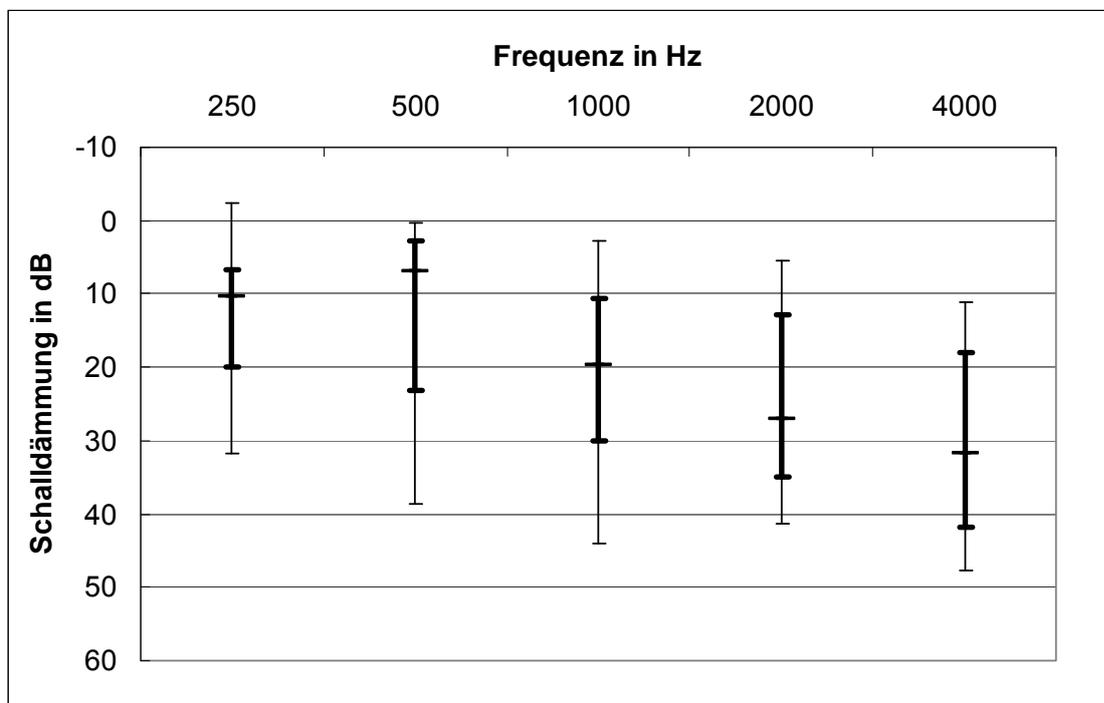


Abbildung A.6:
 Median, 5., 25., 75. und 95. Perzentil der im Audiomobil gemessenen Rohdaten für den fertig geformten Gehörschutzstöpsel „E-A-R Ultrafit“ (62 Datensätze)

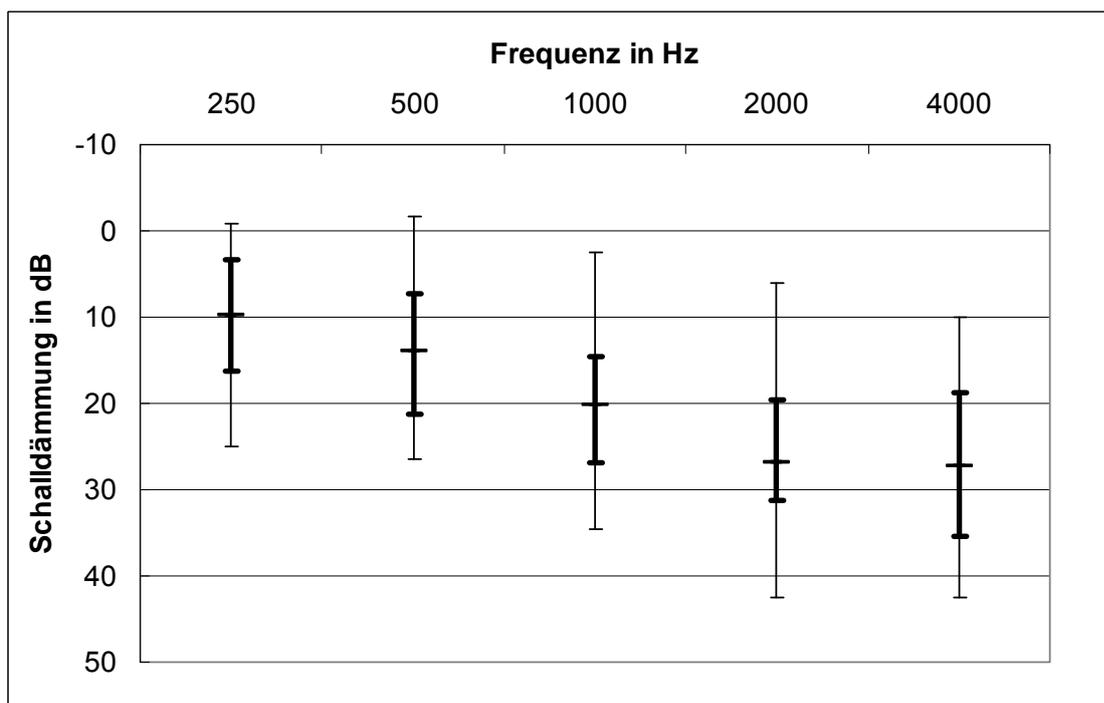




Abbildung A.7:
Median, 5., 25., 75. und 95. Perzentil der im Audiomobil gemessenen Rohdaten für den fertig geformten Gehörschutzstöpsel „Moldex Rockets Cord“ (27 Datensätze)

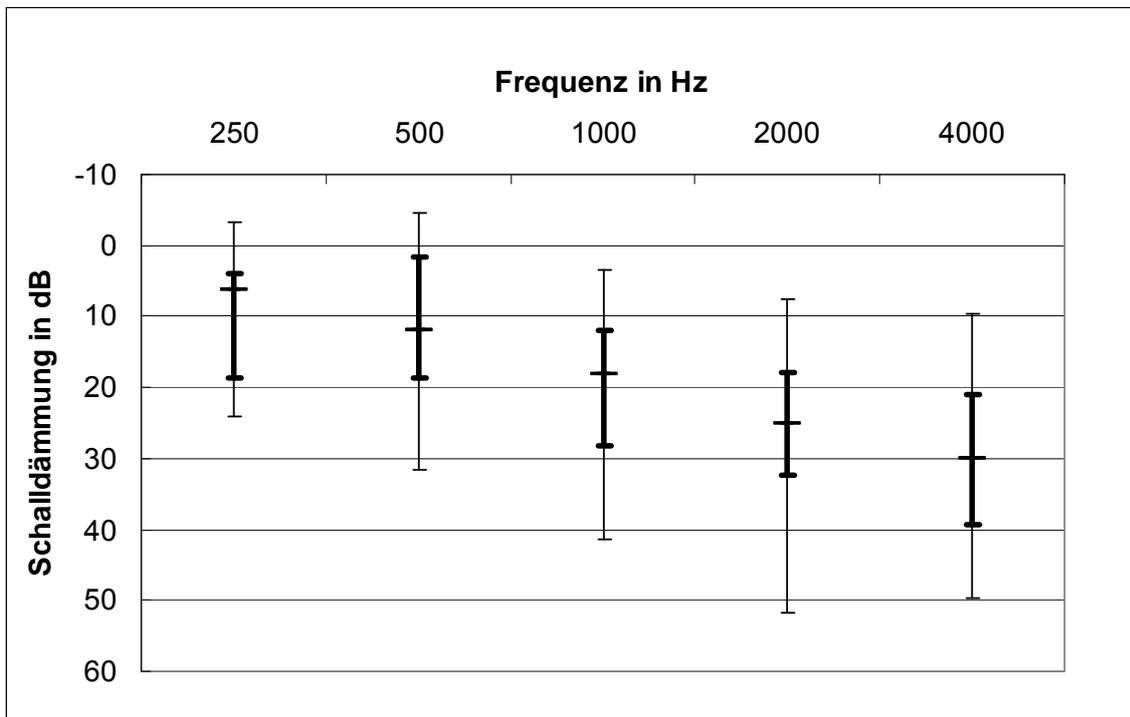


Abbildung A.8:
Median, 5., 25., 75. und 95. Perzentil der im Audiomobil gemessenen Rohdaten für den Bügelstöpsel „Bilsom PerCap“ (30 Datensätze)

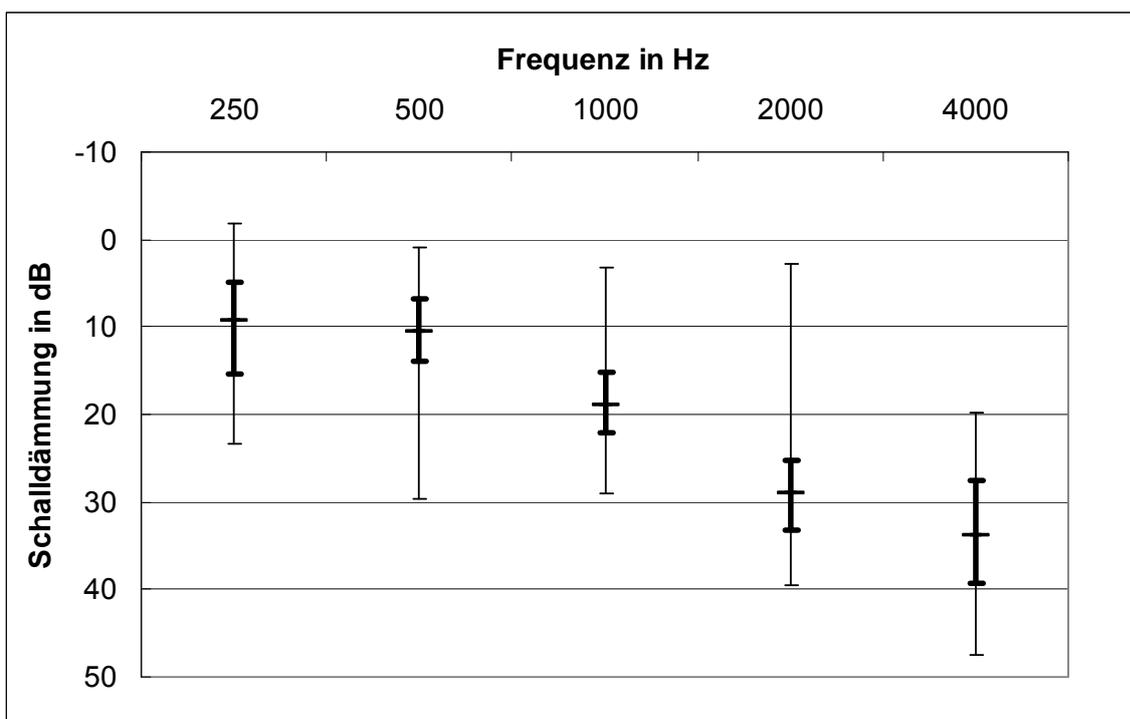




Abbildung A.9:
Median, 5., 25., 75. und 95. Perzentil der im Audiomobil gemessenen Rohdaten für den Bügelstöpsel „E-A-R Flexicap“, Kinnbügel (33 Datensätze)

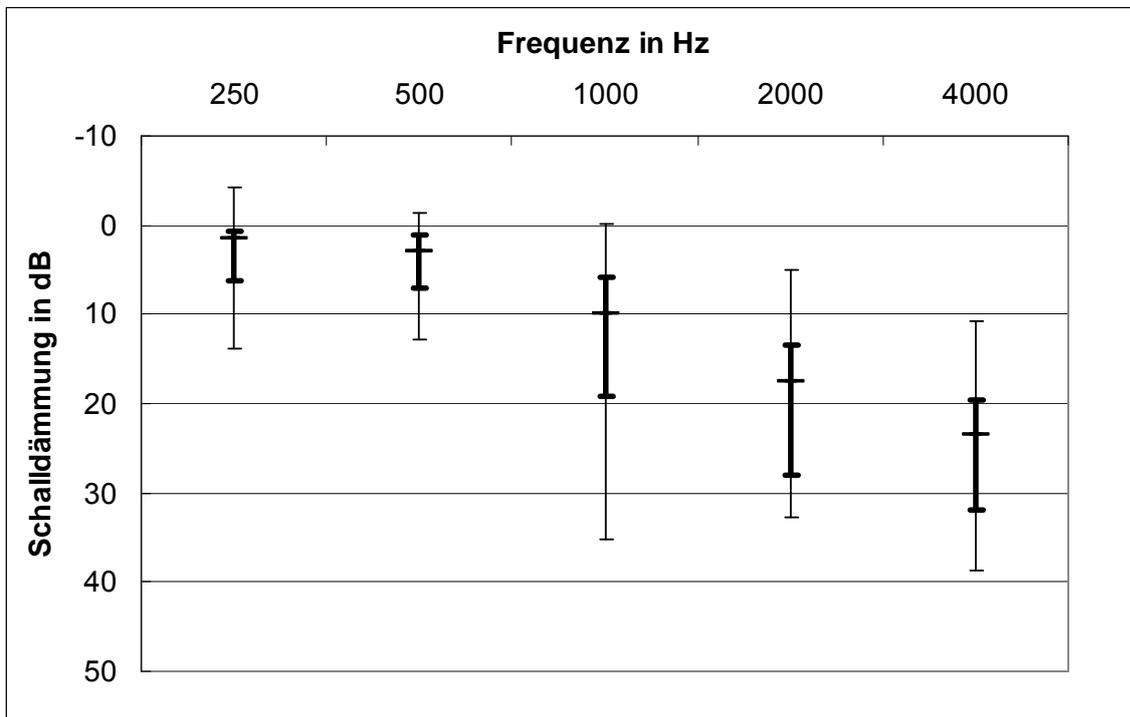


Abbildung A.10:
Median, 5., 25., 75. und 95. Perzentil der im Audiomobil gemessenen Rohdaten für den Kapselgehörschützer „Bilsom Viking V2“ (33 Datensätze)

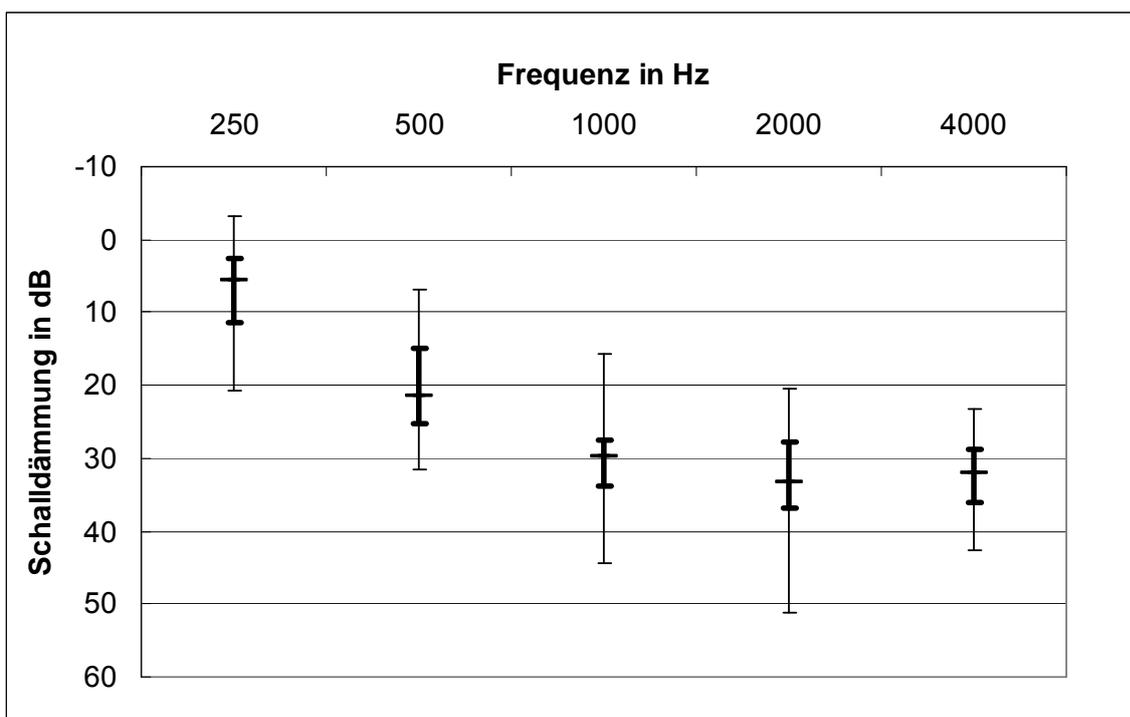




Abbildung A.11:
 Median, 5., 25., 75. und 95. Perzentil der im Audiomobil gemessenen Rohdaten für die Otoplastik „Sicom“ (60 Datensätze)

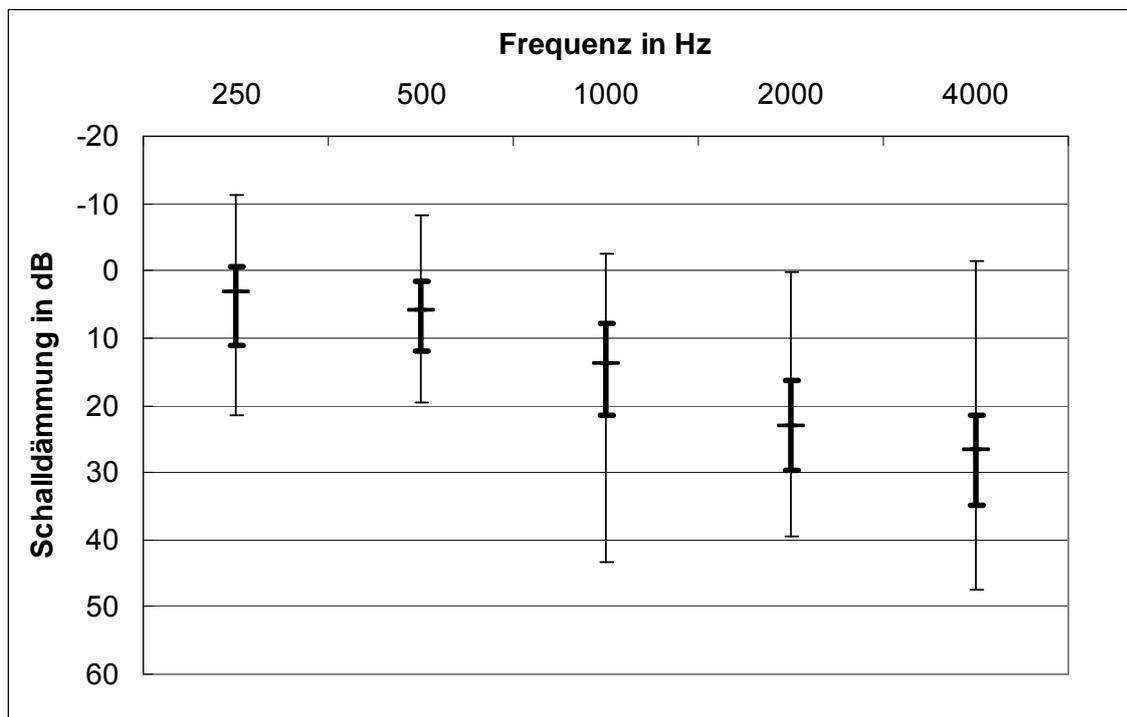


Abbildung A.12:
 Median, 5., 25., 75. und 95. Perzentil der im Audiomobil gemessenen Rohdaten für die Otoplastik „Uvex HighFit F10“ (69 Datensätze)

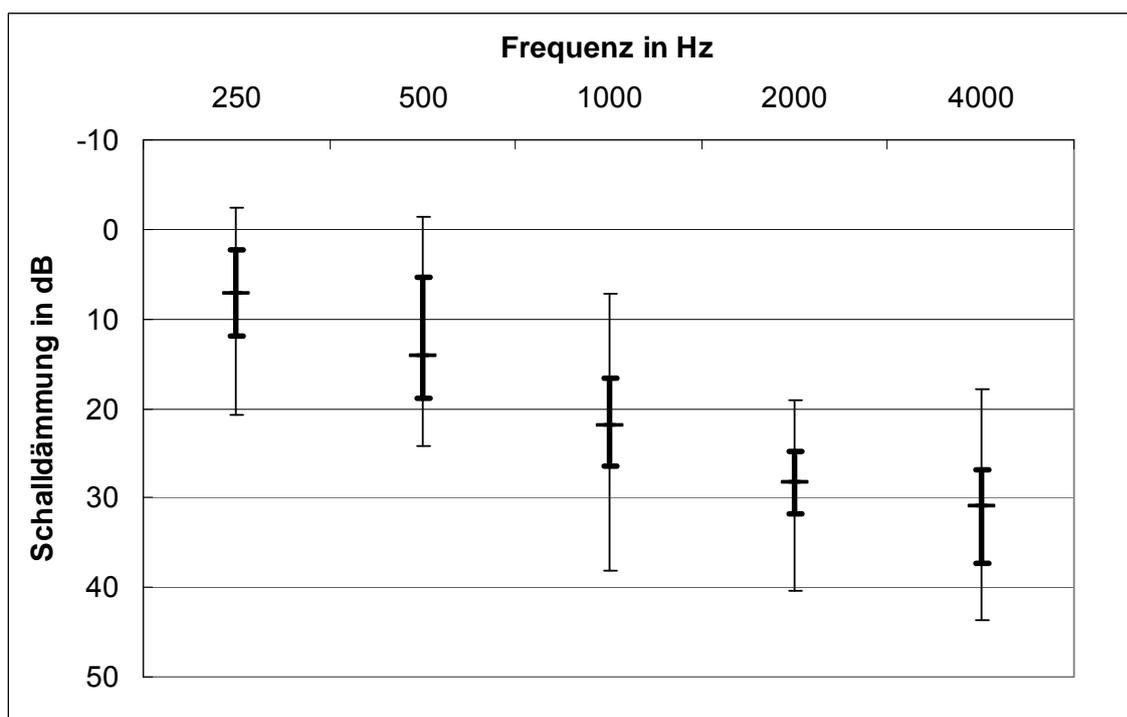




Abbildung A.13:
Median, 5., 25., 75. und 95. Perzentil der im Audiomobil gemessenen Rohdaten für die Otoplastik „Sonus AS“ (11 Datensätze)

