

# Experimentelle Untersuchung der Schutzwirkung persönlicher Gehörschutzmaßnahmen im Ultraschallbereich

Uwe Heisel, Detlef Klotz, Jianhua Li

Institut für Werkzeugmaschinen, Universität Stuttgart

## Einführung

Ultraschallanwendungen gewinnen nicht nur in Forschung und Entwicklung, sondern auch in der Industrie zunehmend an Bedeutung. Eine gesundheitliche Beeinträchtigung des betroffenen Personenkreises bei den an Ultraschall-Anlagen auftretenden Schalldruckpegeln von bis zu 140 dB ist nach dem derzeitigen Stand wissenschaftlicher Untersuchungen nicht vollständig auszuschließen. Lassen sich weder durch primäre Lärminderungsmaßnahmen noch durch geeignete Kapselungen an den Anlagen die abgestrahlten Lärmpegel deutlich reduzieren, so müssen für die Bediener solcher Anlagen persönliche Gehörschutzmittel zur Verfügung gestellt werden. Da in gängigen Prüfvorschriften und Normen die Dämmwirkung nur bis zu einem Bereich von 8 kHz bis 10 kHz ermittelt wird und darüber hinaus nur wenige hochfrequente Messungen bekannt sind [1], war die Dämmwirkung von Gehörschützern im niederfrequenten Ultraschallbereich bislang unbekannt.

## Zielsetzung

Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit wurde zunächst ein Versuchsaufbau entwickelt, der die Messung der Schalldämmung von Gehörschützern bis in den tieffrequenten Ultraschallbereich ermöglicht.

Eine Auswahl gängiger, am Markt erhältlicher Gehörschützer wurde dann mit diesem Aufbau auf ihre Wirksamkeit bei hohen Frequenzen untersucht. Die getesteten Gehörschützer lassen sich in Kapselgehörschützer sowie formbare und nicht formbare Gehörschutzstöpsel einschließlich Gehörschutzbügel einteilen.

## Vorgehensweise

Die Untersuchungen zur Ermittlung der Einfügedämmung wurden mit Hilfe eines Kopfsimulators nach ITU-T P.58, eines Außenohrsimulators und eines speziell entwickelten Sonderhallraums zur Erzeugung eines hochfrequenten, diffusen Schallfeldes durchgeführt. Dabei wurde der am Kunstkopf gemessene Schalldruck jeweils mit und ohne Gehörschützer in Terzbändern gemessen. Aus der Differenz der beiden Messungen, die jeweils neun mal mit mindestens zwei verschiedenen Proben wiederholt wurden, ergab sich die Einfügedämmung des jeweiligen Gehörschützers.

Um das hier vorgestellte physikalische Messverfahren überprüfen zu können, wurden die ermittelten Einfügedämmungen nach einer Korrekturformel aus [2] umgerechnet, um sie im Bereich bis 8 kHz mit subjektiv ermittelten Werten vergleichen zu können.

## Versuchsaufbau

Für die Untersuchungen wurde der Kunstkopf im Sonderhallraum ohne Rumpfsimulator aufgebaut. Die Abmessungen des Sonderhallraums wurden so gewählt, dass der Kunstkopf einerseits nur einen geringen Teil des Raumvolumens beansprucht, andererseits das Gesamtvolumen aber möglichst klein ist, um den Diffusitätsanforderungen für besonders hochfrequente Anwendungen zu genügen. Die größte Seitenlänge des schiefwinkligen Hallraums beträgt 110 cm. Das für die Messungen erforderliche diffuse Schallfeld wird durch acht unkorrelierte Rauschquellen über Lautsprecher erzeugt, die sich jeweils diagonal angeordnet auf den Seitenflächen nahe den acht Raumecken des Hallraums befinden und Rosa Rauschen erzeugen. Die Rauschgeneratoren wurden so angepasst, dass

die Differenz der im Hallraum gemessenen Schalldruckpegel zweier benachbarter Terzbänder im Bereich zwischen 1,25 kHz und 31,5 kHz max. 4,5 dB betrug. Die größte Abweichung des Schalldruckpegels in dem diffusen Schallfeld zwischen dem Bezugspunkt nach DIN EN 24869-3 und einem weiteren Messpunkt beträgt 1,4 dB.

Da die bei Verwendung des Außenohrsimulators nach DIN IEC 711 in Vorversuchen ermittelten Dämmwerte der Gehörschutzstöpsel zu hoch waren, wurde in Anlehnung an [3] ein Außenohrsimulator aus Silikon gefertigt, mit dem die Versuchsreihen zur Ermittlung der Einfügedämmung von formbaren und nicht formbaren Gehörschutzstöpseln durchgeführt wurden.

## Ergebnisse

### Überprüfung des Messverfahrens

Für den Bereich bis 8 kHz kann die Güte des Messaufbaus und des verwendeten Außenohrsimulators anhand der nach [2] korrigierten Einfügedämmung ILC und einer Umrechnung auf Oktavwerte überprüft werden, indem die korrigierten Messwerte den nach DIN ISO 4869-1 ermittelten Herstellerangaben gegenübergestellt werden. Im unteren Bild sind dazu die Messwerte des formbaren Gehörschutzstöpsels 2 zusammen mit den nach Schröter und Pössel korrigierten Einfügedämmungen und den Werten nach DIN ISO 4869-1 dargestellt.

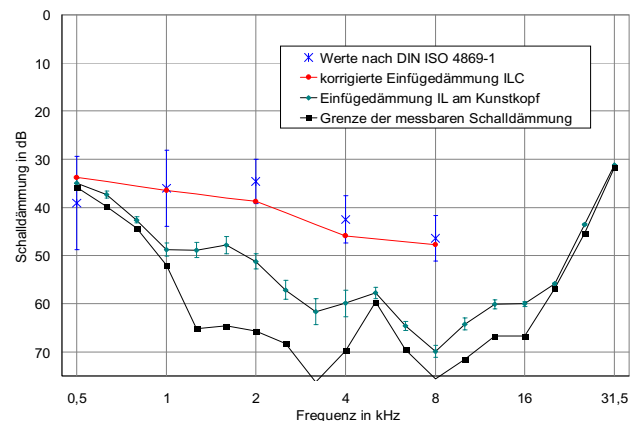


Abb. 1: Schalldämmwerte des Gehörschutzstöpsels 2, gemessen mit Außenohrsimulator mit Silikoneinsatz

Die korrigierten Einfügedämmungen ILC liegen hier durchweg innerhalb der Streugrenzen der nach DIN ISO 4869-1 ermittelten Werte.

In den folgenden Diagrammen sind jeweils die Messwerte der Einfügedämmungen der Probe und die Grenze der messbaren Schalldämmung eingetragen. Diese ist u. a. abhängig von der Bandbreite der Schallquelle, der Übertragungsfunktion des Ohrkanals und dem Frequenzbereich des Mikrofons.

## Messergebnisse der Gehörschützer

### Kapselgehörschützer

Die Messwerte dieser Gehörschützerbauform liegen bei allen Proben bis in den 20-kHz-Bereich weit unterhalb der Grenze der messbaren Schalldämmung. Zwischen 4 kHz und 25 kHz zeigen die Kapselgehörschützer allgemein leicht ansteigende Einfügedämmungen.

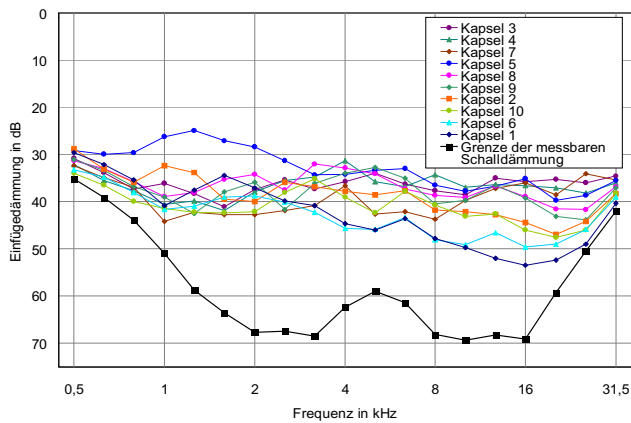


Abb. 2: Übersicht über die gemessenen Einfügedämmungen der Gehörschutzkapseln

### Nicht formbare Gehörschutzstöpsel und Gehörschutzbügel

Aufgrund der bei diesen Ausführungsformen allgemein geringeren Schalldämmung wurde hier die Grenze der messbaren Schalldämmung des Versuchsaufbaus bis in den Ultraschallbereich nicht erreicht, da sich diese Gehörschützer nicht so gut dem Gehörgang anpassen können wie die formbaren Gehörschutzstöpsel.

Die korrigierten Messwerte stimmen bei diesen Gehörschützern teilweise sehr gut mit subjektiv ermittelten bis 8 kHz überein.

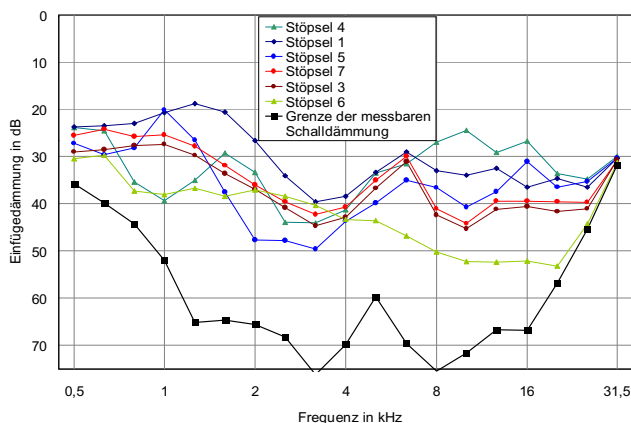


Abb. 3: Übersicht über die gemessenen nicht formbaren Gehörschutzstöpsel und -bügel

### Formbare Gehörschutzstöpsel

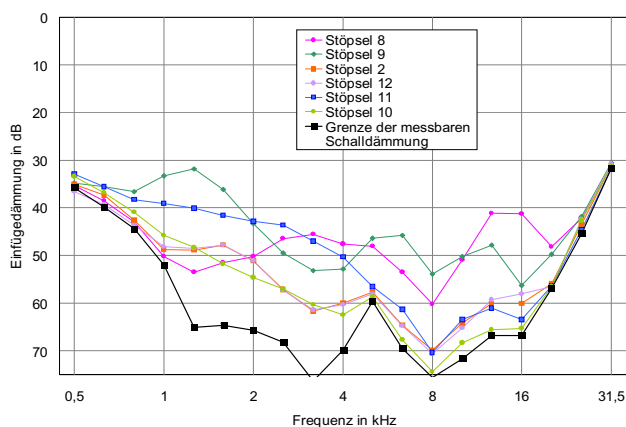


Abb. 4: Übersicht über die gemessenen formbaren Gehörschutzstöpsel

Die Ergebnisse dieser durch Rollen zwischen den Fingern an den Gehörgang anpassbaren Gehörschützer können bis 4 kHz quantitativ ausgewertet werden, in den höheren Frequenzbereichen liegen einige der gemessenen Proben dicht an der Grenze der mit diesem Versuchsaufbau messbaren Schalldämmung.

Allgemein zeigen sie sehr gute Werte im hochfrequenten Hörbereich bzw. im niederfrequenten Ultraschallbereich. Eine Ausnahme bilden hier lediglich die Stöpsel Nr. 8 und Nr. 9. Diese beiden haben nicht die bei den anderen vorherrschende konische Bauform, was die etwas schlechteren Ergebnisse erklärt.

### Schlussfolgerungen

Um eine gute Dämmwirkung bis in den niederfrequenten Ultraschallbereich zu erzielen, ist ein guter Sitz des verwendeten Gehörschützers unabdingbar. Dies gilt für alle der gemessenen Bauformen. Die besten Schalldämmwerte werden von den formbaren Gehörschutzstöpseln erzielt, die schon ab ca. 5 kHz in der Regel an der Grenze der messbaren Schalldämmung mit diesem Versuchsaufbau liegen. Nicht formbare Gehörschutzstöpsel und Gehörschutzbügel sind für den oberen Hörbereich bzw. den tieffrequenten Ultraschallbereich nicht so gut geeignet, da sie sich dem Ohrkanal nicht gut genug anpassen. Gehörschutzstöpsel zeigen allgemein eine starke Frequenzabhängigkeit der gemessenen Einfügedämmung, während Kapselgehörschützer über den gesamten Frequenzbereich bis ca. 20 kHz nahezu konstante Dämmwerte zeigen.

### Diskussion und Ausblick

Mit dem hier vorgestellten Versuchsaufbau lassen sich die Einfügedämmungen von Kapselgehörschützern und nicht formbaren Gehörschutzstöpseln in einem Frequenzbereich von ca. 1,25 kHz bis ca. 20 kHz sehr gut bestimmen wie der Vergleich mit subjektiv ermittelten Werten zeigt. Bei formbaren Gehörschutzstöpseln liegen die Messwerte ab ca. 4 kHz nahe der Grenze der messbaren Schalldämmung. Der hier verwendete Kunstkopf sollte deshalb für hochfrequente Messungen und Messungen an Gehörschützern mit hoher Dämmwirkung dahingehend modifiziert werden, dass im Ohrsimulator ein breitbandigeres ¼"-Mikrofon verwendet wird. Darüber hinaus liegt im Bereich der Schallerzeugung mit den verwendeten Rauschgeneratoren noch die Möglichkeit, die Grenze der messbaren Schalldämmung nach oben zu verschieben.

Für eine abschließende Bewertung der tatsächlich am Menschen mit dem jeweiligen Gehörschützer erzielbaren Schalldämmung über 8 kHz fehlt bislang eine Korrekturmethode, um physikalisch ermittelte Dämmwerte in äquivalente Expositionen des menschlichen Ohres umzurechnen.

### Literatur

- [1] Berger, E. H.: Schutz vor Lärm im Infra- und Ultraschallbereich. In: Sicherheitsingenieur (1989) Heft 4, Seite 38-42.
- [2] Schröter, J.; Pösselt, C.: The use of acoustical test fixtures for the measurement of hearing protector attenuation. Part II: Modeling the external ear, simulating bone conduction, and comparing test fixture and real ear data. J. Acoust. Soc. Am. 80 (2), August 1986, 505-527.
- [3] Genuit, K.; Blauert, J.; Hudde, H.; Richter, U.; Fedkte, T.: Objektiver Gehörschützer-Messplatz zur Bestimmung der Schalldämmung von Gehörschützern mit einem Kunstkopf-Messsystem, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 1994.

### Danksagung

Die Untersuchungen werden im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 543 Ultraschallüberlagertes Umformen metallischer Werkstoffe gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG).