

Akustisches Verhalten von pegelabhängig dämmendem Gehörschutz und geeignete Einsatzmöglichkeiten

Peter Kurt Sickert

Berufsgenossenschaft Holz und Metall, 90403 Nürnberg, E-mail: peter.sickert@bghm.de

Einleitung

Kommunikation und Signalerkennung haben bei der Benutzung von Gehörschutz erheblich an Bedeutung gewonnen. Der Einsatz von elektronischen pegelabhängig dämmenden Gehörschützern soll diese Anforderungen erfüllen. Es wird erwartet, dass diese Gehörschützer in ruhigen Situationen die Geräusche verstärken, aber in lauter Geräuschkombi genügt Schutz bieten. Auch soll die Elektronik den Schall so weit begrenzen, dass ein angenehmer Schallpegel am Ohr entsteht. Aber ist das wirklich so? Um das beurteilen zu können, muss man die Verstärkung und den wiedergegebenen Schallpegel in Relation zum gedämmten Umgebungsschall setzen und ermitteln, welche Gesamtschallpegel am Ohr unter dem Gehörschutz erreicht werden.

Aus den am Ohr gemessenen Schallpegeln lassen sich Schlüsse auf die Situationen (z.B. Arbeitslärmumgebung), für die der jeweilige pegelabhängig dämmende Gehörschutz geeignet ist, ziehen.

Eine Reduzierung des Schallpegels am Ohr durch die Elektronik im Gehörschutz findet nicht statt. Das Verstärkerverhalten bei unterschiedlichen Außenschallpegeln bestimmt die Wirkung des Gehörschutzes und damit seine Einsatzmöglichkeiten. Die Bedeutung des Kriteriumspegels als Einsatzgrenze ist unstrittig, seine Benutzung als einziges quantitatives Maß zur Beschreibung der pegelabhängig dämmenden Gehörschützer hingegen zweifelhaft.

Wirkungsprinzip pegelabhängig dämmender Gehörschützer

Pegelabhängig dämmende Gehörschützer dämmen mit ausgeschalteter Elektronik den Schall wie passive Gehörschützer. Zusätzlich befinden sich an der Außenseite dieser Kapseln oder Stöpsel Mikrofone, die den ankommenden Schall aufnehmen. Der Schall wird über eine Übertragungsstrecke mehr oder weniger verstärkt in der Innenseite des Gehörschützers wieder abgestrahlt. Das Verstärkungsverhalten wird vom Hersteller so eingestellt, dass bei niedrigen Außenpegeln die passive Schalldämmung ausgeglichen werden kann. Der erzeugte „Schallpegel unter dem Gehörschutz“ (d.h. der diffusfeld-korrigierte, also auf das Außenschallfeld bezogene, Schallpegel, der mit Grenzwert oder Auslösewerten im Freifeld verglichen werden kann) kann höher oder gleich dem Außenpegel sein. Damit entsteht für den Gehörschutzbenutzer z.B. bei einem Außenpegel von 60 dB(A) ein Pegel von 60 bis 80 dB(A). Vor Erreichen des Innenpegels von 85 dB(A) lässt die Verstärkung nach und der Pegel am Ohr bleibt so lang in dieser Höhe (auf einem Plateau), bis die Elektronik keinen Anteil am Innenpegel

mehr liefert und der Anstieg des Außenpegels nicht mehr ausgeglichen werden kann. Dann steigt der Innenpegel wieder proportional linear mit dem Außenpegelanstieg. Übersteigt der Schallpegel am Ohr den Wert von 85 dB(A), darf der Gehörschutz nicht mehr eingesetzt werden. Das ist der den pegelabhängig dämmenden Gehörschutz charakterisierende „Kriteriumspegel“.

Den theoretischen Verlauf des Innenschallpegels L' bei unterschiedlichen Außenpegeln im passiven Modus und aktiv bei einer 1:1 Verstärkung und einer Pegelüberhöhung unter dem Gehörschutz von 10 dB zeigt Abbildung 1.

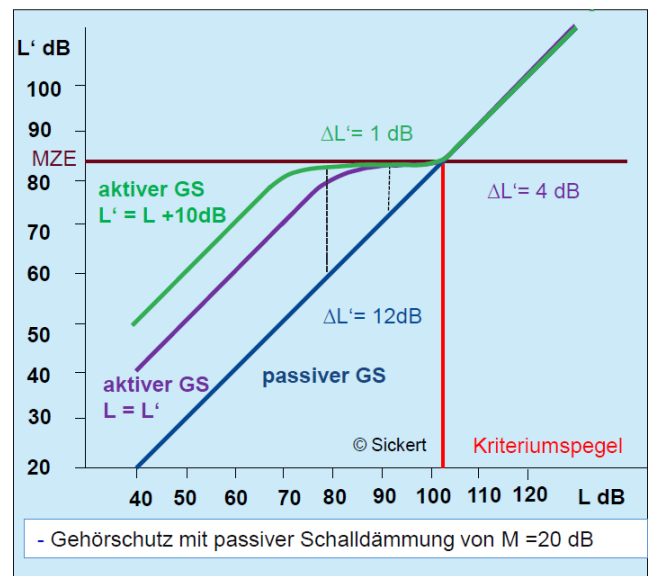


Abbildung 1: Wiedergabepegel (L') unter dem Gehörschutz (diffusfeld-korrigiert) in Abhängigkeit vom Außenpegel (L). MZE: maximal zulässiger Expositionswert aus der LärmVibrations-ArbSchV.

Anwendungssituationen

Zur Klärung der möglichen Eignung eines Gehörschützers für einzelne Arbeitssituationen ist es notwendig, nach dem Zweck des Einsatzes zu fragen. Man sollte folgende Möglichkeiten diskutieren:

- Verhinderung der Einwirkung von plötzlichen Impulsspitzen bzw. Knallen,
- Einsatz zur Kommunikation während lärmarmen Arbeitsphasen,
- Kommunikation während der Lärmexposition,
- Verhinderung von Überprotektion in lärmarmen Arbeitsphasen (Isolationsgefühl).

Der Einsatz kann also zur Verhinderung von Hörschäden, zur Verbesserung der Kommunikation oder aus ergonomischen Gründen erfolgen.

Im praktischen Einsatz findet man diese Art Gehörschützer heute insbesondere bei Gabelstaplerfahrern, Richtarbeiten im Stahl- und Behälterbau, Nietarbeiten im Flugzeugbau, Schweißern und Sportschützen. Die Unfallversicherungsträger klären zurzeit, ob ein Einsatz für Personen mit Hörminderung sinnvoll ist. In diesem Fall könnten diese Gehörschützer wie einfachste Hörgeräte von Personen mit Hörminderung an Lärmarbeitsplätzen verwendet werden.

Zulassungskriterien oder relevante Produktkriterien

Bei der Zulassung pegelabhängig dämmender Gehörschützer im Rahmen der Baumusterprüfung werden „nur“ die Anforderungen der DIN EN 352 Teil 1 bzw. 2 und 4 bzw. 7 geprüft. [1]

Das sind:

1. Typenangabe, Angabe der Norm und Prüfstelle
2. Angabe der passiven Schalldämmung entsprechend EN 352-1 (Kapselgehörschutz) oder -2 (Gehörschutzstöpsel)
3. Einhaltung der Mindestschalldämmung nach EN 352-1 oder -2
4. Angabe des Kriteriumspegels ($L_{EX,8hmax} = \dots$ dB), bestimmt nach EN 352-4 (Kapselgehörschutz) oder -7 (Gehörschutzstöpsel)
5. Angabe: „Warnhinweis – die Schallabgabe durch den Schaltkreis für die Schallwiedergabe kann den äußeren Schallpegel überschreiten.“

Es bleibt die Frage, ob diese Angaben die Funktion pegelabhängig dämmender Gehörschützer einschließlich ihres elektronischen Verhaltens ausreichend beschreiben. Eine geeignete Auswahl nach diesen Kriterien ist bisher nicht möglich.

Relevante Produktkriterien sind insbesondere:

- Verhältnis Außenpegel zu Innenpegel (Plateauverhalten)
- Geeigneter Wirksamkeitsbereich der Elektronik
- Innenpegelanstieg (Steilheit) im Regelbereich
- Grundrauschen
- Signal-/Rauschabstand für Sprache/Signale im Störgeräusch
- Wiedergabe von Sprache im Störlärm
- Verhalten bei Peakpegeln (Auslösepegel, Zeitverhalten).

Erst unter Berücksichtigung dieser Kriterien kann über den richtigen Einsatz entschieden werden.

Offene Fragen zur Anwendung

Weil das akustische Verhalten bisher nicht vollständig untersucht ist, ergeben sich eine Reihe von Fragen insbesondere zum Verstärkerverhalten der Elektronik.

Welches Anstiegsverhalten der Innenpegel ist:

1. für den Einsatz am Lärmarbeitsplatz am besten geeignet?
2. für die Kommunikation im Störschall am Lärmarbeitsplatz am besten geeignet?
3. für die Kommunikation bei schwankendem Störschall am Lärmarbeitsplatz am besten geeignet?
4. bei Impusllärm am Lärmarbeitsplatz am besten geeignet?
5. für Personen mit Hörminderung am besten geeignet?
6. Und: Sind pegelabhängig dämmende Gehörschützer überhaupt eine nützliche PSA für Personen mit Hörminderung?

Die Beantwortung dieser Fragen sollte langfristig Einfluss auf die Normung und die nationalen Regelwerke haben.

Verstärkerverhalten pegelabhängig dämmender Gehörschützer

Die Ergebnisse von Messungen des Verstärkerverhaltens unterschiedlicher Gehörschützer zeigen überraschenderweise ganz unterschiedliche Verläufe, die vom als Standard betrachteten Verhalten stark abweichen können. Abbildung 2 zeigt für vier verschiedene Verstärkertypen die im IFA ermittelten Innenpegelverläufe unter dem Gehörschutz (L') (diffusfeld-korrigiert) in Abhängigkeit vom Außenpegel (L).

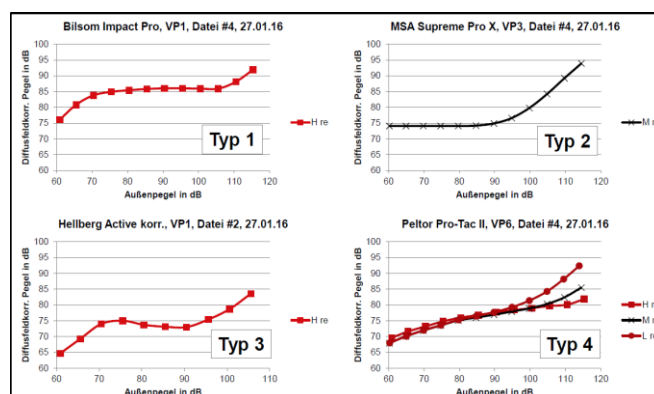


Abbildung 2: Unterschiedliches Verstärkerverhalten (Plateauverlauf) pegelabhängig dämmender Gehörschützer für H-, M- und L-Geräusche (nach EN 352-4). Messung am ATF mit Ohrsimulator nach EN 60318-4.

Nur Typ 1 zeigte den klassischen Verlauf (vgl. Abbildung 1). Der Schallpegel kann aber auch schon in sehr leiser Umgebung auf einen festen Wert angehoben werden, den der Gehörschützer bis zur Erschöpfung der elektronischen Verstärkung beibehält (Typ 2). Danach wirkt er als passiver Gehörschutz. Typ 3 verhält sich bei Außenpegeln bis 70 dB(A) klassisch, zeigt aber dann bei ansteigendem Außenpegel einen leicht rückläufigen Pegel am Ohr.

Schließlich zeigen Gehörschützer vom Typ 4 kein wirkliches Plateau. Ihr Innenpegel steigt immer an, jedoch nicht 1:1 zum Außenpegel und mit unterschiedlichem Gradienten je nach Art des Außengeräusches.

Signalerkennung im Arbeitslärm

Die Frage der Signalerkennung bei Benutzung pegelabhängig dämmender Gehörschützer wird unterschiedlich diskutiert; tatsächlich werden Verbesserungen und Verschlechterungen beschrieben.

Casali [2] fand weder vor- noch nachteilige Wirkungen von pegelabhängig dämmendem Kapselgehörschutz auf die Signalerkennung unter Störlärm (Rosa Rauschen) zwischen 75 und 95 dB(A). Akzeptiert ist, dass für Personen mit Hörminderung die Situation besonders schwierig ist. Auch werden verschiedene Marker zur Beurteilung diskutiert.

Bei im IFA durchgeführten eigenen Messungen konnte auf der Basis des Beurteilungskriteriums der „relativen Lautheitszunahme“ keine Verbesserung der Warnsignal-erkennung von pegelabhängig dämmenden, elektronischen Gehörschützern gegenüber passiv dämmendem Gehörschutz festgestellt werden (siehe Abbildung 3).

Relative Lautheitszunahme (W_{BU}) als Basis der Bewertung:

$$W_{BU} = (N_{S+RR} - N_{RR})/N_{RR}$$

N_{RR} ...Lautheit von Rosa Rauschen

N_{S+RR} ...Lautheit von Signal plus Rosa Rauschen

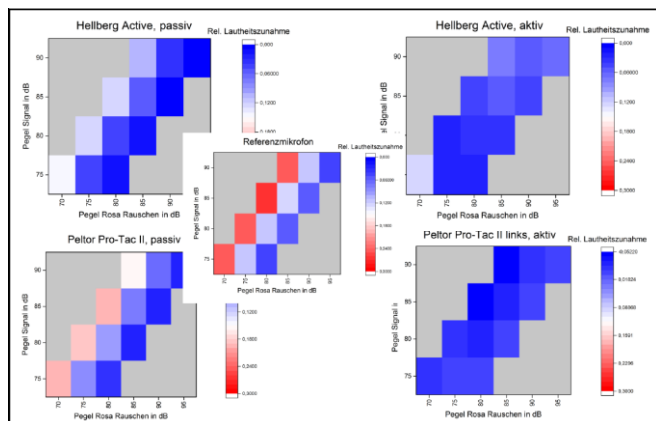


Abbildung 3: Relative Lautheitszunahme durch ein Warnsignal bei Rosa Rauschen für die Benutzung von Gehörschutz im passiven und aktiven Modus gegenüber der relativen Lautheitszunahme ohne Gehörschutz (Referenzmikrofon, Bildmitte). Jedes Rechteck steht für eine Kombination von Störgeräusch- (Abszisse) und Signalpegel (Ordinate). Rot: hohe Werte der relativen Lautheitszunahme, blau: niedrige Werte, grau: nicht gemessen.

Die relative Lautheitszunahme bei Ertönen eines Warnsignals war bei Benutzung von Gehörschutz in jedem Fall schlechter als ohne Gehörschutz. Der Einsatz der Elektronik führte aber zu einer deutlich schlechteren Warnsignal-erkennung als die Gehörschutzbenutzung im passiven Modus. Zum Beispiel nahm ohne Gehörschutz die relative Lautheit bei einem Signalpegel von 75 dB erheblich zu (rotes Feld), solange der Störpegel (rosa Rauschen) bei

70 dB lag. Sie verbesserte sich leicht bei einem Störschall von 80 dB und sie veränderte sich nicht mehr bei einem Störschall von 85 dB. Bei Gehörschutz mit eingeschalteter Elektronik wurde der gegenteilige Effekt festgestellt (dunkelblaue Felder).

Es gibt allerdings noch eine Reihe anderer Einflussfaktoren auf das Hören von Warnsignalen. Das sind:

- Ortung der Signalquelle
- Einfluss des Signalspektrums
- Einfluss des Störgeräuschespektrums und -pegels
- Frequenzabhängigkeit
- Stetigkeit des Geräusches.

Eine normierte Berücksichtigung dieser Einflussfaktoren wurde bisher nicht durchgeführt. Eine Verbesserung des Hörens von Warnsignalen bei Benutzung von Gehörschutz mit pegelabhängiger Dämmung im Störlärm kann jedoch als extrem unwahrscheinlich angesehen werden. Grund dafür ist die Kompression im Plateaubereich, die den Signal-Rausch-Abstand verringert. Bei einem Einsatz in Lärmpausen hingegen ist aber von einer besseren Hörbarkeit im Vergleich zum passiven Gehörschutz auszugehen.

Kommunikation

Die Beurteilung der Kommunikationsfähigkeit bei Benutzung pegelabhängig dämmender Gehörschützer im Störlärm (z.B. Arbeitslärm) ist noch komplexer.

Der Grund ist darin zu suchen, dass unter der Fülle der Einflussfaktoren die Wirkung des Gehörschutzes nur einen kleinen Anteil hat, der von vielen Faktoren überlagert und beeinflusst wird.

Einflussfaktoren für die Kommunikationsfähigkeit				
Aufgabenstellung	Sprecher-einfluss	Einfluss der Schallquelle	Umgebungs-einfluss	Hörer
Erkennen als Sprache	Geschlecht	Schallpegel	Abstand	Hörminderung
Lokalisieren der Quelle	Stimmaufwand	Richtungsfaktoren	Nachhallzeit	Gehörschutz
Verstehen des Inhalts	Lombardeffekt (Δ Pegel, Δ Frequenz)	Frequenzspektrum	Schallfeldtyp (diffus, direkt)	Sprachkompetenz (Signalverarbeitung)
	Akzent	Pegel-Zeitverlauf	Störschallpegel	Binaurale Effekte (Phasen-/Pegeldifferenz)
	Sprechgeschwindigkeit		Informationsgehalt des Störschalls	Kognitive Fähigkeiten

Quelle: nach C. Giguère ICBCN 2011

Abbildung 4: Zusammenstellung der Einflussfaktoren für eine Kommunikation (nach C. Giguère [3] mit Ergänzungen)

Wenn der verwendete Gehörschutz durch Einschalten der Elektronik sein akustisches Verhalten verändert, kann der Effekt leicht durch andere Faktoren wie Frequenzspektrum der Störschallquelle, Tonalität der Sprache oder Sprechgeschwindigkeit so überlagert werden, dass der Gehörschutz-Effekt verdeckt wird.

Die messtechnische Erfassung der Sprachverständlichkeit ist kaum möglich, daher sind zur Beantwortung dieser Frage Hörversuche mit Probanden nötig.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass pegelabhängig dämmende Gehörschützer in ihren akustischen Eigenschaften sehr stark voneinander abweichen können. Die klassische Vorstellung vom pegelverschobenen Anstieg des Schallpegels am Ohr bis zum Erreichen des maximal zulässigen Expositionswertes von 85 dB(A) als Momentanpegel kann als überholt angesehen werden. Es gibt Gehörschützer, deren erzeugter Pegel am Ohr sich zwischen Außenpegeln von 75 und 90 dB(A) nicht ändert. Da im Plateaubereich von einer Kompression auszugehen ist, dürften diese Gehörschützer einen geringeren Sprachkomfort erwarten lassen als Gehörschützer ohne Plateau. Ohne wesentliches Störgeräusch (Arbeiten in Lärmpausen) lässt der Gehörschutz mit ausgeprägtem Plateauverhalten einen hohen Sprech- bzw. Hörkomfort erwarten.

Zur Verbesserung der Signalerkennung sind pegelabhängig dämmende Gehörschützer wahrscheinlich nicht geeignet. Hier sollte man weiterhin passiv dämmende Gehörschützer mit flacher Dämmcharakteristik empfehlen. Zur Verbesserung der sprachlichen Kommunikation durch Benutzung pegelabhängig dämmender Gehörschützer im Sinne eines einfachen Hörgerätes kann momentan kein abschließendes Urteil abgegeben werden.

Ausblick

Pegelabhängig dämmende Gehörschützer müssen weiter untersucht werden. Das einzige bisher verwendete akustische Zulassungskriterium, der Kriteriumspegel, muss gegebenenfalls ergänzt werden. Zur Auswahl des geeigneten Produktes für den Einsatz in wechselnden Geräuschsituationen oder bei plötzlich auftretenden Impulslärmspitzen ist diese Kenngröße allein nicht geeignet.

Danksagung

Ich möchte Sandra Dantscher und Markus Janssen für die Durchführung der Messungen im IFA und die Unterstützung bei der Auswertung danken.

Literatur

[1] EN 352: Gehörschützer

Teil 1: Gehörschützer - Allgemeine Anforderungen;
Deutsche Fassung EN 352-1:2002

Teil 2: Gehörschutzstöpsel - Allgemeine
Anforderungen; Deutsche Fassung EN 352-1:2002

Teil 4: Sicherheitstechnische Anforderungen und
Prüfungen; Pegelabhängige Kapselgehörschützer;
Deutsche Fassung EN 352-4:2001

Teil 7: Sicherheitstechnische Anforderungen und
Prüfungen - Teil 7: Pegelabhängig dämmende
Gehörschutzstöpsel; Deutsche Fassung EN 352-7:
2002

[2] G. Casali and W. H. Wright: Do amplitude-sensitive hearing protectors improve detectability of vehicle

backup alarms in noise? Proceedings of human factors and ergonomics society, 39th annual meeting 1995

[3] C. Giguère et al.: Advanced hearing protection and communication: progress and challenges, Conference Paper, 10th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2011, London, UK