

Beurteilung der Gehörgefährdung durch schmalbandige Geräusche

Heinz Waldmann, Beat W. Hohmann

Suva, Bereich Physik, Postfach, CH - 6002 Luzern, akustik@suva.ch

Einleitung

Die Suva ist der grösste schweizerische Unfallversicherer und versichert rund die Hälfte (2 Mio.) der Schweizer Berufstätigen gegen die Folgen von Unfällen und Berufskrankheiten und betreibt Prävention und Rehabilitation.

Zu den Aufgaben der Akustik-Experten der Suva gehören Messungen der Lärmexposition in Betrieben, Kontrollen der Massnahmenumsetzung und die technische Beurteilung von Gehörschadenfällen. Als Schadensursachen kommen langfristige Lärmexposition am Arbeitsplatz oder unfallähnliche, kurzfristige Lärmexpositionen in Frage. In beiden Fällen wird eine technische Beurteilung (anhand von Erfahrungswerten, Rekonstruktionen mit Messungen oder Abschätzungen) durchgeführt. Danach wird der Schadenfall mit der technischen Beurteilung den Arbeitsärzten der Suva zur medizinischen Beurteilung vorgelegt.

Aus der Erfahrung der letzten Jahre treten mehrere Fälle besonders hervor, bei denen Belastungen mit schmalbandigen Geräuschen oder Reintönen einen Tinnitus auslösten. Im Folgenden schlagen die Autoren ein an die Gehörphysiologie angelehntes Beurteilungsmass K_{NB} für solche Gehörbelastungen vor.

Schmalbandige Geräusche als Ursache für Gehörschäden

Literatur und bestehende Grenzwerte

Viele Arbeiten haben sich mit bleibenden Hörschwellenverschiebungen (permanent threshold shift PTS) wegen kontinuierlicher oder intermittierender Lärmexposition oder auch aufgrund von Impulsbelastungen (Knalle, Explosionen) beschäftigt. Die Ergebnisse sind insbesondere in ISO 1999-1990 zusammengefasst. Im Vergleich dazu gibt es nur wenige Arbeiten, die sich mit besonderen Auswirkungen von Reintönen oder von schmalbandigen Geräuschen befassen [1, 2], und diese beschreiben die Auswirkungen in Form einer temporären Hörschwellenverschiebung (temporary threshold shift TTS) bzw. mit dem Verlust von Haarzellen bei Meerschweinchen, nicht aber in Form von PTS.

Nach unserer Kenntnis gibt es bisher kein Beurteilungsmass für das PTS-Risiko durch die Belastung mit Reintönen oder schmalbandigen Geräuschen. Die Norm ISO 1999-1990 beschreibt, welche Hörschäden durch Belastungen mit gleichförmigem, breitbandigem Lärm zu erwarten sind. Es wird ausserdem erwähnt, dass die Anwendung der Norm auf tonale oder impulshaltige Geräusche die bestmögliche Extrapolation darstelle, und dass tonale Geräusche um bis zu 5 dB schädlicher eingestuft werden können als breitbandige. Die Norm DIN 45681 beschreibt einen Tonzuschlag K_T für die Beurteilung der Belästigung durch tonhaltige Geräuschimmissionen.

Erfahrungen aus Schadenfallbeurteilungen

Bei den 1500 bis 2000 Gehörschadenfällen, die jährlich von der Suva beurteilt werden, fällt eine Zunahme von Fällen auf, die mit Reintönen oder schmalbandigen Geräuschen im Zusammenhang stehen. Dabei handelte es sich um Geräusche von – meistens elektroakustischen – Quellen wie:

- Rückkopplungen von Verstärkeranlagen;
- Alarmsignale von Diebstahlsicherungen, Haus-Alarmanlagen oder Feueralarmen;
- Signale von Geräten zum Verscheuchen von Hunden, Katzen oder anderen "ungebetenen Gartenbewohnern";
- hochton-haltige Geräuschemissionen von grossen Schaltnetzteilen;
- Brummen von Turboprop-Flugzeugen.

Bei den meisten Fällen wurde nicht eine Lärmschwerhörigkeit (PTS) sondern ein chronischer Tinnitus beklagt. In einigen Fällen erschien ein Zusammenhang zwischen der Lärmbelastung und dem Tinnitus als überwiegend wahrscheinlich, obwohl die Arbeitsplatz-Grenzwerte für Lärm nicht überschritten worden waren.

Gehörbelastung durch schmalbandige Geräusche

Einwirkung schmalbandiger Geräusche auf die Basilarmembran

Bei Gehörschäden durch schmalbandige Geräusche steht das mechanische Verhalten der Basilarmembran im Zentrum, weniger die aktiven Einflüsse der äusseren Haarzellen oder die Signalverarbeitung im Gehirn. Die Bandbreite dieses mechanischen Filters beträgt oberhalb von 500 Hz rund eine Terz (vgl. Lautheit nach Zwicker in ISO 532). Damit liegt es nahe, das Schwingungsverhalten durch eine in der Schallmesstechnik übliche Frequenzanalyse in Terzbändern anzunähern. Im Gegensatz zur Basilarmembran haben diese allerdings feste Grenzfrequenzen, sodass ein Ton, der in den Übergangsbereich von zwei Terzbändern fällt, bei beiden zu hohen Schallpegeln führt. Dieser Artefakt ist besonders zu berücksichtigen.

Um als "reintonhaltig" oder "mit schmalbandigen Geräuschkomponenten" wahrgenommen zu werden, genügt es in der Regel, wenn einzelne Geräuschkomponenten wenige Dezibel aus dem breitbandigen Geräusch hervortreten. Bei einem solchen Geräusch ist aber der Grossteil der Schallenergie immer noch auf viele Terzbänder verteilt. Es ist davon auszugehen, dass eine solche Tonhaltigkeit kein besonderes PTS-Risiko darstellt.

Als besonders gefährlich für das Gehör wäre ein Ton dagegen einzustufen, wenn ein Grossteil der Schallenergie (z.B. 75 %) auf nur ein oder zwei kritische Bänder konzentriert

wäre. Ein entsprechender Zuschlag sollte einen Wert von 10 dB nicht überschreiten, da die Konzentration der Schallenergie eines breitbandigen Geräusches auf ein einziges Terzband dort etwa die zehnfache Belastung erzeugt.

Vorschlag eines Schmalbandzuschlags K_{NB}

Die Überlegungen führen zu folgendem Vorschlag für den Schmalbandzuschlag K_{NB} : Es wird berechnet, wie viele Terzbänder ($\#TB$) 75 % der A-bewerteten Schallenergie tragen. Diese Anzahl wird in Relation zur Anzahl der Terzbänder gestellt, die bei einem breitbandigen Spektrum (z.B. Rosa Rauschen) 75 % der Schallenergie umfassen.

$$K_{NB} = -10 \cdot \lg \left(\frac{\#TB}{\#TB_{\text{PinkNoise}}} \right) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Für Rosa Rauschen gilt $\#TB_{\text{PinkNoise}} = 11$; somit gilt für Rosa Rauschen $K_{NB} = 0$ dB, für einen Reinton $K_{NB} = 10$ dB.

Variante einer vereinfachten Berechnung K_{NBs}

In einer vereinfachten Variante K_{NBs} wird berechnet, um welchen Wert der A-bewertete Schallpegel eines Geräusches sinkt, wenn die zwei stärksten Terzbänder aus dem Spektrum entfernt werden. Der Betrag dieser Differenz wird als K_{NBs} verwendet. Wenn die *zwei* stärksten Bänder entfernt werden, gelingt es auch in Fällen, wo ein Ton (z.B. mit $f = 1150$ Hz, $L = 90$ dB(A)) zwei Terzbänder stark anregt ($L_{1000\text{Hz}} = 81.4$ dB, $L_{1250\text{Hz}} = 88.6$ dB), die Hauptenergie der schmalbandigen Geräuschkomponente zu entfernen.

Im Fall eines Reintones ergäbe dieses Vorgehen $K_{NBs} = 18$ dB, was aber den oben genannten Höchstwert der Korrektur deutlich übersteigt. Es wird vorgeschlagen, K_{NBs} auf einen Maximalwert von 10 dB zu limitieren.

Beispiele

Die Terzbandspektren einiger Geräusche sind in Abbildung 1 dargestellt; Tabelle 1 zeigt die Beurteilungsmasse K_{NB} , K_{NBs} sowie K_T (nach DIN 45681) für diese Geräusche.

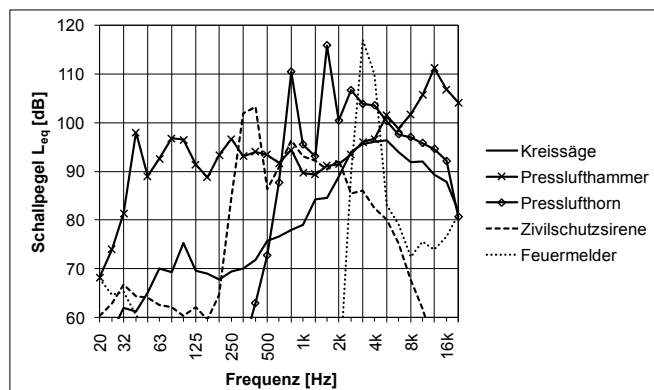


Abbildung 1: Terzbandspektren einiger Geräusche

Es zeigt sich, dass K_{NB} und K_{NBs} vergleichbare Resultate liefern, insbesondere wenn die Werte auf ganze Dezibel gerundet werden. Im Vergleich dazu liefert K_T bei diesen Geräuschen durchwegs Werte von 5 bis 6 dB.

Tabelle 1: Beurteilung der Tonhaltigkeit verschiedener Geräusche; alle Werte in dB

Geräusch	K_{NB}	K_{NBs}	K_T
Kreissäge	3.4	2.2	5
Presslufthammer	2.6	2.9	6
Zivilschutzsirene	3.4	2.5	5
Pressluftthorn	7.4	6.4	6
Feuermelder	10.0	10.0	6

Diskussion

K_{NB} soll auf ganze Dezibel gerundet und nicht mit dem A-bewerteten Schallpegel verrechnet sondern separat ausgewiesen werden. Ausserdem ist es für die medizinische Schadenfall-Beurteilung wichtig, die Frequenz(en) anzugeben, bei denen die dominanten Tonhaltigkeiten auftraten.

K_T (nach DIN 45681) reagiert im Vergleich zu K_{NB} und K_{NBs} viel stärker auf schwache Tonhaltigkeiten und beurteilt Reintöne (Beispiel Feuermelder) nicht strenger als Geräusche mit starken Obertönen (Pressluftthorn). Daher eignet sich K_T nicht für die Beurteilung eines PTS-Risikos.

Es ist zu untersuchen, ob Werte von K_{NB} unter 3 dB überhaupt zu berücksichtigen sind, oder ob diese nicht sowieso schon als normaler, breitbandiger Industrielärm in ISO 1999-1990 eingeflossen sind.

Auffallend ist, dass trotz der weiten Verbreitung von Ultraschall-Reinigungsbädern und Ultraschall-Schweissanlagen, die häufig stark ausgeprägte schmalbandige Geräuschanteil im Hörbereich erzeugen, der Suva bisher kaum je Gehörschadenfälle aufgrund solcher Expositionen vorgelegt worden sind. Es wäre genauer zu untersuchen, ob dies mit der in der Regel hohen Frequenz solcher Geräusche ($f \geq 10$ kHz) zusammenhängt.

Zusammenfassung

Die Suva schlägt vor, die besondere Gefährlichkeit schmalbandiger oder reintonhaltiger Geräusche mit dem Schmalbandzuschlag K_{NB} bei der technischen Beurteilung von Gehörschadenfällen zu objektivieren und bei der medizinischen Beurteilung zu berücksichtigen. Aufgrund der schwachen wissenschaftlichen Grundlagen des Vorschlages ist eine vertiefende fachliche Diskussion notwendig. Jegliche Hinweise und Kommentare sind hoch willkommen.

Literatur

- [1] Young I. M., Lowry L.D.: "Temporary threshold shift after exposure to a narrow-band noise, frequency-modulated tones, continuously variable frequency tones and a pure tone", 113th Meeting: Acoustical Society of America, S76; J. Acoust. Soc. Am. Supp. 1, Vol. 81, Spring 1987
- [2] Harding G.W., Bohne B.A.: "Distribution of focal lesions in the chinchilla organ of Corti following exposure to a 4-kHz or a 0.5-kHz octave band of noise", Hearing Research 225 (2007) 50-59