

ARBEITSWISSENSCHAFTLICHE ERKENNTNISSE

Forschungsergebnisse für die Praxis

Lärmbeurteilung – Gehörschäden

Ising, H.; Plath, P.; Rebentisch; E.; Sust, Ch. A.

Wirkungen von Lärm auf das Gehörorgan – Effekte, Mechanismen, Prävention –

Inhalt

- 1 Belastung von Arbeitnehmern durch Lärm**
- 2 Wirkungen von Lärm auf das Gehör**
 - 2.1 Funktion und Aufbau des Gehörs
 - 2.2 Gehörschäden durch Lärmbelastung
 - 2.2.1 Zeitweilige und bleibende Hörschwellenverschiebung
 - a) Typen zeitweiliger Hörschwellenverschiebungen
 - b) Bleibende Hörschwellenverschiebung
 - 2.2.2 Schädigungsmechanismen bei Impuls- und Dauerlärm
 - 2.2.3 Zur Sonderstellung des Impusllärms
- 3 Zum klinischen Erscheinungsbild lärmbedingter Gehörschäden**
 - 3.1 Der lärmbedingte Hörschaden
 - 3.2 Tinnitus und lärminduzierte Ohrenscherzen
 - 3.3 Störung der Signal- und Spracherkennung bei Innenohrschäden
- 4 Weitere Einflußfaktoren der Schädigungswirkung von Lärm**
 - 4.1 Lärmbelastung und Ruhepausen
 - 4.2 Arbeitsplatzbedingte, zusätzliche Belastungen
 - 4.3 Ototoxische Substanzen
 - 4.4 Lärmwirkungen und Magnesium-Status
 - 4.5 Beziehungen zwischen aktueller Schädigungsempfindlichkeit und bestehender Vorschädigung
 - 4.6 Lärmwirkungen in der Schwangerschaft
 - 4.7 Die physiologische Alterung des Gehörs
- 5 Schadensrisikomodelle für Arbeitslärm**
 - 5.1 Das Energieäquivalenzprinzip
 - 5.2 Kriterien für die Beurteilung der gehörschädigenden Wirkung durch Lärm: der Beurteilungspegel
 - 5.2.1 Schädigungskriterien für gleichförmigen Lärm
 - 5.2.2 Schädigungskriterien für Impusllärm
 - 5.3 Berechnung des Beurteilungspegels
- 6 Schrifttum**

Ergebnisse aus den im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Sozialordnung, Bonn, und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, durchgeführten Forschungsvorhaben, dargestellt in der Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – Forschung – Fb 370 und 630 von

Irion, H.; Roßner, R.; Lazarus, H.

Entwicklung des Hörverlustes in Abhängigkeit von Lärm, Alter und anderen Einflüssen

Spreng, M.; Leupold, L.; Firsching, P.

Gehörschaden durch Impulsgeräusche – Vorschläge für ein gehörschadenrichtiges Impulsbewertungssystem

Nachdruck und auszugsweise Wiedergabe nur mit ausdrücklicher vorheriger Zustimmung der BAuA, Dortmund, gestattet

1 Belastung von Arbeitnehmern durch Lärm

Lärm schädigt aufgrund hoher Schallpegel und anhaltender Einwirkungszeit das Gehör. Aus gesundheitspolitischer Sicht ist vor allem der Arbeitslärm bedeutsam.

Der in der Arbeitsstättenverordnung und UVV Lärm festgelegte Grenzwert der Lärmimmission am Arbeitsplatz von 85 dB(A) wird häufig überschritten (vgl. VDI-Richtlinie, 2058, Blatt 2). Das bedeutet:

5 Millionen Arbeitnehmer sind gehörgefährdendem Lärm ausgesetzt.

Grund für diese hohe Lärmimmission am Arbeitsplatz ist die Lärmemission von ca. 4 Millionen Schallquellen, das heißt Maschinen und Arbeitsverfahren in Industrie und Handwerk.

Eine hohe Anzahl von Lärmschwerhörigkeitsfällen tritt in den Gewerbezeigen Bergbau, Eisen und Metall, Holz, Bau, Steine und Erden sowie Textil auf.

Besondere Bedeutung kommt dabei impulshaltigem Arbeitslärm zu, der an etwa 30 % der Arbeitsplätze insbesondere bei der Metallbearbeitung vorkommt.

Die außerberufliche Belastung durch Lärm ist bei Teilen der Arbeitnehmer so groß, daß vorhandene Schäden intensiviert werden, da eine zwingend erforderliche Erholung des Gehörs außerhalb des Arbeitsbereiches eingeschränkt wird. Teilweise ist die Lärmbelastung (Heimwerker) sogar so hoch, daß Hörschäden entstehen können. Beides gilt für Jugendliche, insbesondere junge Arbeitnehmer, durch das Hören lauter Musik (Kassettengeräte, Diskothekenbesuche).

Für das Individuum bedeutet Schwerhörigkeit eine

- Einschränkung der zwischenmenschlichen Kontakte durch Beeinträchtigung der sprachlichen Kommunikation in der Familie, im Freundeskreis und bei der Arbeit,
- Beeinträchtigung des normalen Arbeitsablaufs bis zum Verlust des Arbeitsplatzes,
- Erhöhung der Unfallgefahr durch Überhören von Warnsignalen.

Die Folgen sind aber nicht nur einschneidend für den Einzelnen, sondern haben auch erhebliche volkswirtschaftliche Bedeutung. Seit 1929 werden Lärmschäden, die an Taubheit grenzen, in bestimmten Wirtschaftszweigen als Berufskrankheit anerkannt. 1961 wurde die Beschränkung auf bestimmte Wirtschaftszweige aufgegeben und die Anerkennung auch auf gering- bis mittelgradige Schäden ausgedehnt.

Die Lärmschwerhörigkeit ist eine in Deutschland und Europa anerkannte Berufskrankheit. Sie liegt weiterhin mit an der Spitze aller Berufskrankheiten. Der Anteil der Lärmschwerhörigkeitsfälle an der Gesamtzahl der Berufskrankheiten liegt bei 20 % bis 30 %. Jedes Jahr werden ca. 10.000 neue Fälle

der Berufskrankheit Lärmschwerhörigkeit angezeigt, ca. 3.000 neue Fälle erstmals anerkannt und ca. 1.000 Fälle erstmals entschädigt. Die Eisen- und Metallindustrie gehört zu den am meisten mit Lärm höherer Intensität belasteten Gewerbebezügen. So kommt knapp die Hälfte der erstmals entschädigten Lärmschwerhörigen aus dem Bereich Eisen und Metall, obwohl dieser Wirtschaftszweig nur 15 % der Arbeiter stellt. Die durchschnittlichen Kosten für eine Lärmrente belaufen sich auf ca. 150.000 DM.

Die Folgen der durch Lärm entstandenen Gehörschäden sind gravierend: Abgesehen von der Minderung der Lebensqualität und der Einschränkung der Arbeitsmöglichkeiten sind die Folgekosten durch Unfälle, Krankheitsausfalltage, Arbeitsplatzumsetzungen, Gehörvorsorgeuntersuchungen und Berufskrankheitsrenten für die Berufsgenossenschaften, Krankenkassen und Betriebe enorm.

Das Gehör ist viel komplexer aufgebaut, als dies der sichtbare Teil, die Ohrmuschel, vermuten läßt (**Bild 1**). Vom äußeren Ohr (Ohrmuschel und Gehörgang) gelangen die Schallwellen zum Mittelohr (Trommelfell und Gehörknöchelchen: Hammer, Amboß und Steigbügel) und Innenohr (Schnecke oder Cochlea). Die Schnecke weist zwei Fenster – das ovale und das runde Fenster – an ihrem unteren Ende auf, die durch Membranen abgeschlossen sind.

Der Steigbügelknochen des Mittelohrs liegt auf der Membran, die das ovale Fenster verschließt.

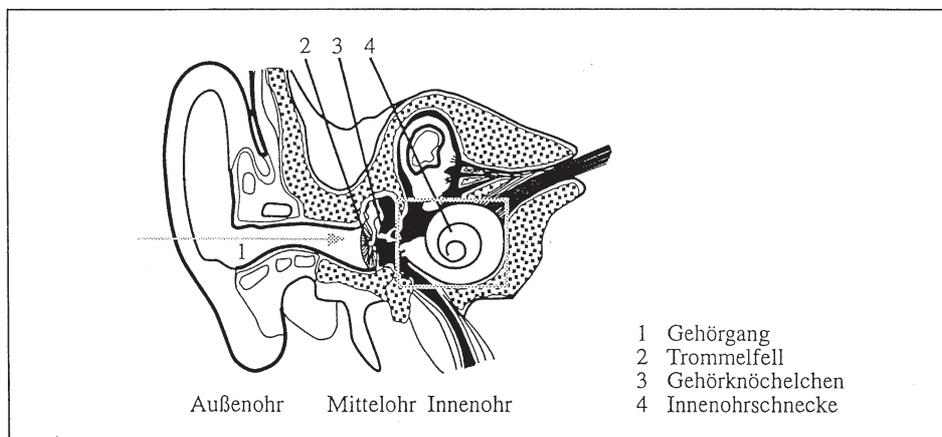


Bild 1: Aufbau des Innenohres – Gesamtansicht

Die Schallwellen gelangen durch den Gehörgang zum Trommelfell und versetzen dieses in Schwingungen. Diese Schwingungen werden über die Gehörknöchelchen – Hammer, Amboß und Steigbügel – auf die Membran des ovalen Fensters an der Schnecke übertragen.

Um eine optimale Anpassung der Schwingungsübertragung vom Luftschall auf die mit Flüssigkeit gefüllte Schnecke zu erzielen, wirkt das Mittelohr wie ein mechanischer Transformator mit einem Übersetzungsverhältnis von 1:20.

2 Wirkungen von Lärm auf das Gehör

2.1 Funktion und Aufbau des Gehörs

Die Schnecke ist ein spiralförmiger Kanal (**Bild 2**), der durch die elastische Basilarmembran der Länge nach unterteilt wird (**Bild 3**). Nur an der Schneckenspitze hat diese Membran eine Öffnung.

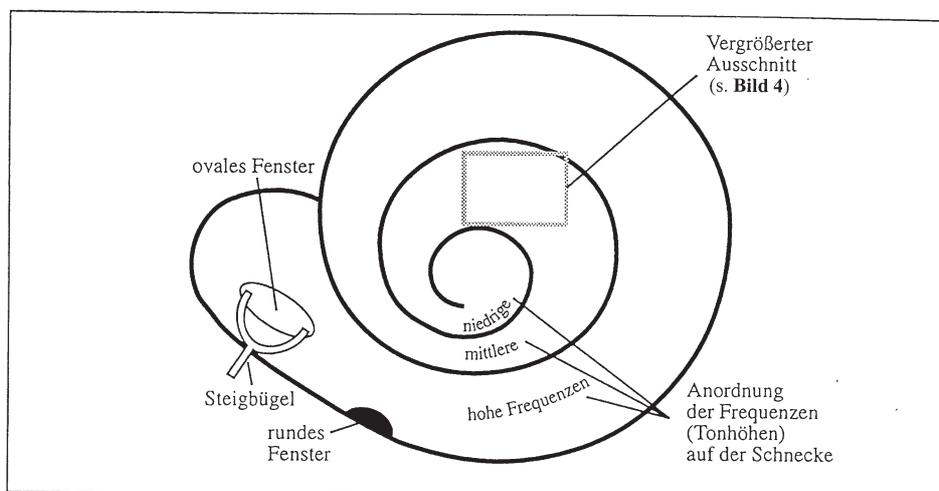


Bild 2: Aufbau des Innenohres – Schnecke

Durch die Schwingungen des Steigbügels wird die Basilarmembran ausgelenkt, und eine Wellenbewegung läuft auf der Basilarmembran in Richtung Schneckenspitze. Die maximale Wellenbewegung entsteht bei niedrigen Frequenzen in der Nähe der Schneckenspitze und bei hohen Frequenzen in der Nähe des runden Fensters (**Bild 2**).

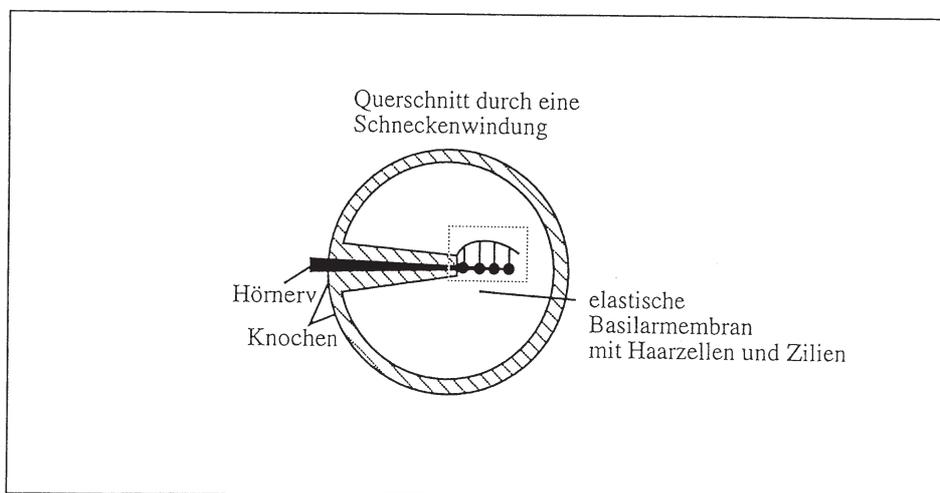


Bild 3: Aufbau des Innenohrs – Basilarmembran

Die eigentlichen Sinneszellen – die Haarzellen – sind in vier parallelen Reihen auf der elastischen Basilarmembran angeordnet. Die Haarzellen der zur Schneckenmitte hin innersten Reihe tragen linienförmig angeordnete Sinneshärchen – die Zilien. Die Zilien der äußeren Haarzellen sind v- oder w-förmig angeordnet (**Bild 4**).

Schwache Schwingungen der Basilarmembran werden von den Zilien der äußeren Haarzellen verstärkt. Sehr starke Schwingungen der Basilarmem-

bran werden wahrscheinlich durch aktive Gegenbewegungen der äußeren Haarzellen gedämpft, um Überlastungen der Zilien zu vermeiden. Bewegungen der Zilien der inneren Haarzellen werden in Nervenimpulse umgewandelt und zum Gehirn weitergeleitet. Erst dann hört man ein Schallereignis oder ordnet ein Wellenmuster einer bestimmten Schallquelle zu und reagiert in irgendeiner Form.

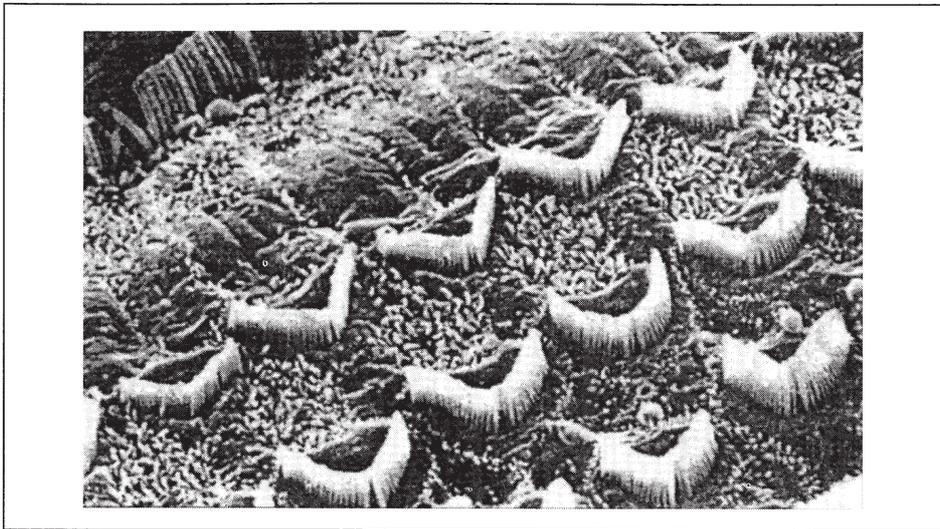


Bild 4: Drei Reihen von v-förmig angeordneten Zilien der äußeren Haarzellen, links oben linienförmig angeordnete Zilien der inneren Haarzellen (m. f. G. von J.-M. Aran, Vergrößerung ca. 5000 : 1)

Natürliche Schutzmechanismen stehen dem Menschen nur in sehr begrenztem Maß zur Verfügung (Stapedius-Reflex, zentraler Schutzreflex), die aber im normalen Arbeitsalltag nur eine unwesentliche Rolle spielen.

Bei langfristig wiederholter, hoher Schallbelastung oder kurzen, extrem hohen Schallimpulsen werden zuerst die Zilien der äußeren Haarzellen zerstört (**Bild 5**). Entweder werden sie nur zeitweilig in der Funktion beeinträchtigt oder bleibend geschädigt. Erst wenn eine erhebliche Zahl von Zilien geschädigt ist, läßt sich das in Form einer Verschiebung der Hörschwelle nachweisen.

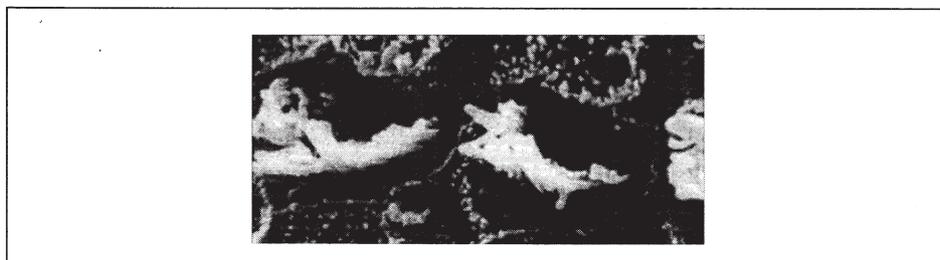


Bild 5: Durch Lärmeinwirkung geschädigte Zilien (Zilienabbrüche, m. f. G. von H. Ising, Vergrößerung ca. 8000 : 1)

2.2 Gehörschäden durch Lärmbelastung

2.2.1 Zeitweilige und bleibende Hörschwellenverschiebung

Die Hörschwellenverschiebung nach einer Lärmbelastung kann dabei

- aufgrund der **Funktionsbeeinträchtigung der Zilien** reversibel bzw. zeitweilig (als TTS = temporary threshold shift oder zeitweilige Hörschwellenverschiebung bezeichnet) oder
- aufgrund der **Funktionsschädigung der Zilien** irreversibel bzw. bleibend (als PTS = permanent threshold shift bezeichnet) sein.

Bleibende Gehörschäden können durch langfristige Schallbelastung verursacht oder durch kurzzeitige hohe Schallbelastung (z. B. Knalltrauma) ausgelöst werden.

a) Typen zeitweiliger Hörschwellenverschiebung

Die zeitweilige Hörschwellenverschiebung bildet sich bei **längerdauernder Schallbelastung** mit Pegeln über 85 dB(A) erst schnell, dann langsamer bis zum Ende der Belastung oder bis zu einem asymptotischen Endwert aus. Nach dem Ende der Lärmbelastung wird sie erst schnell und dann langsamer wieder abgebaut (**Bild 6a**).

Nach **kurzer, sehr intensiver Schallbelastung** nimmt die zeitweilige Hörschwellenverschiebung nach dem Ende der Schallbelastung weiter zu (Lutz & Hodge, 1971) und erreicht ihr Maximum erst 30–100 Minuten nach dem Ende der Schallbelastung (**Bild 6 b**); vgl. auch Abschnitt 2.2.2).

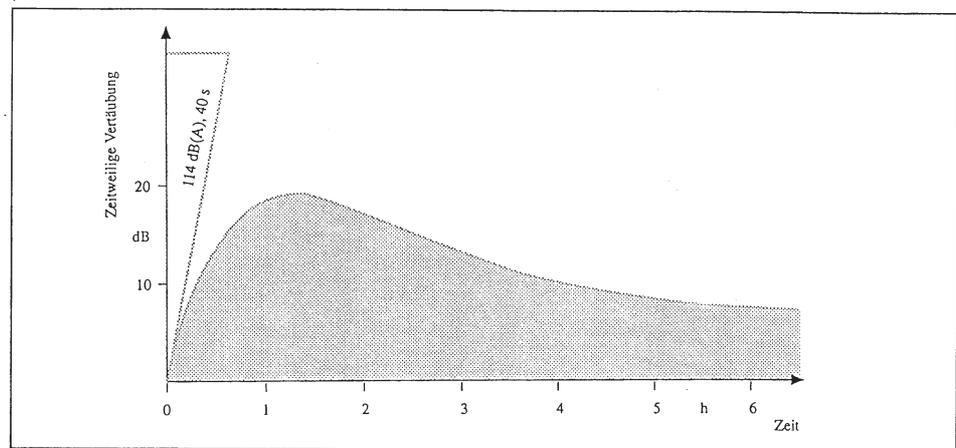


Bild 6 a: Zeitweilige Hörschwellenverschiebung nach längerer Schallbelastung

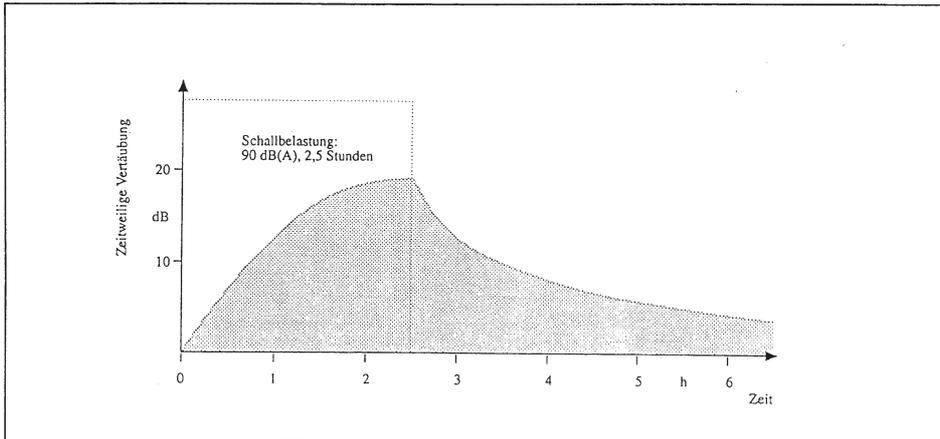


Bild 6 b: Zeitweilige Hörschwellenverschiebung nach kurzer, sehr intensiver Schallbelastung

Gelegentlich steigt aber die zeitweilige Hörschwellenverschiebung nach einer anfänglichen Verminderung 10–60 Minuten nach Einwirkungsende erneut stark an. Diese Form der sich verzögert entwickelnden Hörschwellenverschiebung bildet wahrscheinlich schon einen Übergang zu bleibenden Hörschwellenanhebungen.

Die Größe der zeitweiligen Hörschwellenverschiebung hängt ab (Spreng, 1991) von

- der Intensität und der Dauer der Schalleinwirkung: Die Höhe der zeitweiligen Hörschwellenverschiebung entspricht etwa der auf das Ohr eintreffenden Schallenergie. Das heißt, sie ist umso höher, je höher der Schallpegel ist und je länger er einwirkt. Eine zeitweilige Hörschwellenverschiebung tritt im allgemeinen aber erst oberhalb eines Schallpegels von 75 dB(A) auf
- der Frequenz: Mit zunehmender Frequenz (bis 16 kHz) des einwirkenden Schalls steigen die Werte der zeitweiligen Hörschwellenverschiebung an.
Bei Beschallung mit reinen Tönen oder schmalbandigen Geräuschen entsteht der größte, zeitweilige Hörverlust stets eine halbe oder eine Oktave oberhalb der Belastungsfrequenz.

b) Bleibende Hörschwellenverschiebung

Gehörschäden sind bleibende Hörschwellenverschiebungen. Dauer- und Impulslärmschäden zeigen im allgemeinen typische Unterschiede bei den einzelnen Frequenzen

- Breitbandiger Dauerlärm führt zu Hörverlusten mit einem Maximum bei 4–6 kHz. Bei andauernder Lärmeinwirkung verbreitert und vertieft sich die Senke (**Bild 7**).

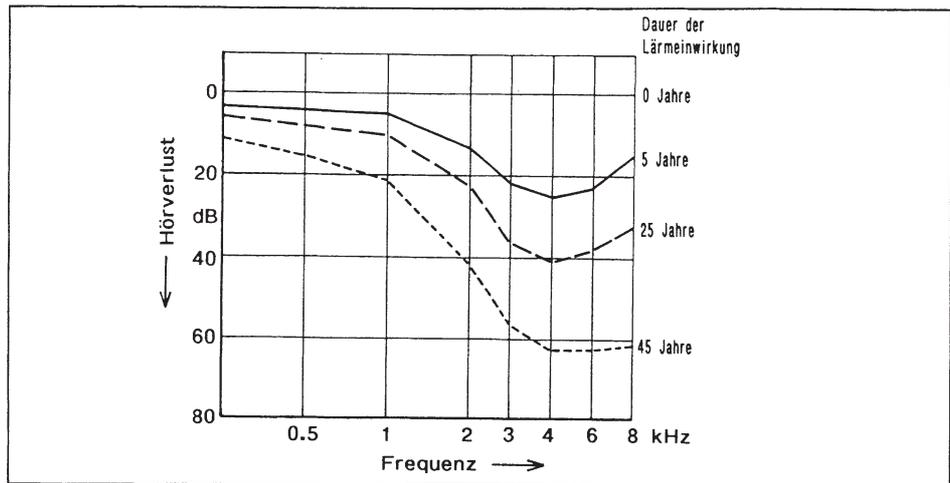


Bild 7: Hörverluste aufgrund breitbandigem Dauerlärm in Abhängigkeit vom Einwirkungszeitraum

- Impulslärm führt zu Schwellenanhebungen im Frequenzbereich oberhalb des üblichen Audiometriebereiches (oberhalb 8 kHz) mit unterschiedlicher Beteiligung tieferer Frequenzen.

In der Regel liegen jedoch Geräusche vor, die beides enthalten, sowohl breitbandige Dauergeräusche als auch Impulsgeräusche.

Reine Töne und schmalbandige Geräusche führen wegen der stärkeren Belastung eines eng umgrenzten Abschnittes im Innenohr zu einer stärkeren zeitweiligen Hörschwellenverschiebung und schließlich auch zu stärkerer Lärmschwerhörigkeit als Breitbandgeräusche gleicher Energie, das heißt, gleichen äquivalenten Dauerschallpegels.

Dabei ist von Bedeutung, daß die schädliche Wirkung von reinen Tönen und schmalbandigen Geräuschen zwar stärker ist als bei breitbandigen Geräuschen, da die gleiche Energie auf einen kleineren Abschnitt der Basilarmembran, also auf eine geringe Menge an Zilien, wirkt. Subjektiv werden aber schmalbandige Geräusche als leiser empfunden. Lautheitsempfindung und Schädigungspotential zeigen also eine gegensätzliche Abhängigkeit von der Bandbreite.

Obwohl die VDI 2058, Blatt 2, einen Tonzuschlag für schmalbandige Geräusche nicht vorsieht, wird aus Gründen der Prävention ein solcher empfohlen.

2.2.2 Schädigungsmechanismen bei Impuls- und Dauerlärm

Nach gegenwärtiger Kenntnis werden im wesentlichen drei Schädigungsmechanismen unterschieden:

- **Stoffwechselüberlastungsschäden** (durch energetische Erschöpfung), hervorgerufen durch Dauerlärm, intermittierenden Lärm oder Impulslärm im Intensitätsbereich von etwa 75 dB(A) bis 115 dB(A).

- **Primäre mechanische Schäden** insbesondere an den Zilien, hervorgerufen durch Impulslärm oder auch Dauerlärm mit Pegeln oberhalb etwa 120 dB(A). Eingeleitet wird die mechanische Zerstörung durch eine Schädigung der Zilien und eventuell durch Mikroblutungen. Auch Risse in den Membranen können entstehen und die unterschiedlichen Flüssigkeiten, die sie umschließen, sich durchmischen. Dadurch werden Stoffwechselstörungen an den Haarzellen und deren Degeneration eingeleitet.
- **Primäre Störungen der Mikrozirkulation** in Reaktion auf intensive Beschallung mit nachfolgender Zellschädigung. Durch Beschallung mit Pegeln etwas über 100 dB (A) kann z. B. der Blutfluß in den Versorgungsgefäßen im Innenohr bereits nach 10–20 Minuten um bis zu 70 % gedrosselt werden.

Das Erscheinungsbild der Zellschädigung nach Schallbelastung ist ähnlich dem nach experimentell erzeugtem Sauerstoffmangel. Veränderungen treten zunächst an den Zilien der Haarzellen auf. Schließlich degenerieren die Haarzellen selbst, dann auch die Stützzellen und im Endergebnis ist das Cortische Organ (auf der Basalmembran) in bestimmten Bereichen nicht mehr vorhanden (Spreng et al. 1991). Oberhalb 80 dB(A) entstehen zunächst reversible Anzeichen für Stoffwechselüberlastungen im Bereich vorwiegend der äußeren Haarzellen (Schlaffwerden der Zilien), nach längerer Belastung kommt es zur irreversiblen Schädigung der Zilien (Verschmelzen oder Abbrechen der Zilien). Das Ausmaß der Zilienschädigung der Haarzellen korreliert mit dem bleibenden Hörverlust.

Neuere Untersuchungen an speziellen Arbeitsplätzen und epidemiologische Studien zeigen, daß impulshaltige oder auch teilweise impulshaltige Industrieschalle deutlich stärker schädigend auf die untersuchten Populationen wirken als quasistationäre, das heißt, langsam schwankende Geräusche mit gleichem Dauerschallpegel.

2.2.3 Zur Sonderstellung des Impulslärms

Impulshaltige Geräusche treten vor allem in der Metallindustrie auf, in der ca. 50 % aller Gehörschäden durch Lärm entstehen. Die impulshaltigen Geräusche weisen Spitzenpegel im Bereich von 80 dB(A) bis 130 dB(A) auf. So wurde im Karosseriebau bei teilweiser Impulshaltigkeit von Schallen ein erhöhtes Risiko einer Gehörschädigung beschrieben als durch ISO 1999 (s. VDI 2058, Blatt 2) abgeschätzt wird.

Impulshaltiger Lärm in der Metallindustrie kann zu Hörschäden führen, die unter kontinuierlichen Geräuschen (z. B. Holzindustrie) erst bei 10 dB bis 20 dB(A) höheren Geräuschpegeln auftreten. Dieroff (1963, 1994) konnte z. B. zeigen, daß bei Richtarbeiten mit einem äquivalenten Dauerschallpegel von $L_{Aeq} = 85$ dB(A) deutlich größere Schäden auftraten als bei Schleifern mit äquivalenten Dauerschallpegel von $L_{Aeq} = 105$ dB(A).

Die Lautheitsempfindung und das Schädigungsrisiko stimmen bei Impulsschall nicht überein: Eine Lautheitsempfindung, die der Höhe des Schallpegels entspricht, benötigt ein etwa 100 ms langes Schallereignis (Zwicker & Feldkeller, 1967). Impulslärm mit Einwirkdauern unter 100 ms werden daher als weniger laut empfunden. Im Gegensatz zur zentralen Verarbeitung des Hörereignisses werden aber sehr kurze Schallimpulse (50 μ s) auf mechanischem Wege mit ihrer vollen Intensität direkt ins Innenohr übertragen. Daher sind Innenohrschäden bei Impulsschall möglich, ohne daß dieser als besonders laut empfunden wird.

3 Zum klinischen Erscheinungsbild lärmbedingter Gehörschäden

Die Angaben zur Anzahl der Personen, die in Deutschland an Schwerhörigkeit aufgrund von Lärm, Alter oder Krankheit leiden, schwanken zwischen 9 und 16 Millionen Menschen (alte Bundesländer). 20 % der Bevölkerung im Alter zwischen 15 und 75 Jahren besitzen eine deutliche, nicht heilbare Hörminderung. Die deutliche Minderung der sprachlichen Kommunikation (Sprachverständnis) ist die Folge, insbesondere in geräuscherfüllter Umgebung. Wesentlich bedingt dadurch treten Schwierigkeiten im zwischenmenschlichen Kontakt, depressive Verhaltensstörungen, Vereinsamung, erhöhte Unfallgefährdung usw. auf.

Ein durch Lärm bedingter Hörschaden wird ab einem Hörverlust von 40 dB bei 3 kHz diagnostiziert (VDI 2058, Blatt 2), wobei Beeinträchtigungen natürlich schon vorher bemerkbar sind.

3.1 Der lärmbedingte Hörschaden

Der lärmbedingte Hörschaden kann als **akutes Lärmtrauma** entstehen oder nach langzeitiger Lärmbelastung als **chronisches Lärmtrauma**. Letzterer ist der bisher dargestellte Hörschaden durch längeren täglichen Lärm.

Das **akute Lärmtrauma** wird in folgenden Formen beobachtet:

1. **Explosionstrauma:** Es ist charakterisiert durch eine Druckerhöhung im äußeren Gehörgang mit Trommelfellverletzung, eventuell Dislokation der Gehörknöchelchenkette und einer Innenohrschädigung (Einwirkzeit 10 ms – 100 ms).
2. **Knalltrauma:** Es wird ebenfalls durch einen kurzfristigen hohen Schallpegel verursacht mit vorwiegend einseitiger Innenohrschädigung, selten ist das Mittelohr beteiligt (Einwirkzeit 0,1 ms – 10 ms).
3. Der **akute Lärmschaden** entsteht ebenfalls durch eine kurzzeitige Einwirkung hoher Schallpegel oder infolge lokaler Durchblutungsstörungen, die auch durch Veränderungen der Halswirbelsäule mitverursacht werden können, und ist meist irreversibel (Einwirkzeit Sekunden bis Stunden). In der Folge entstehen Hörverlust, Ohrensausen und Schädigungen des Innenohrs.

4. Das **stumpfe Schädeltrauma** ohne Fraktur wird verursacht durch eine Druckwelle, die das Innenohr über die Knochenleitung erreicht (bedingt durch Unfälle).

Bei akuten Erscheinungen wie Druck, Schmerz, taubes Gefühl in den Ohren, Ohrensausen, plötzlicher Hörverlust (Hörsturz) sollte sofort ein Arzt aufgesucht werden, da bei Verzögerungen der Behandlung ein bleibender Hörverlust immer wahrscheinlicher wird (insbesondere beim Hörsturz).

Hohe Schallpegel werden von Lärmschwerhörigen als ebenso unangenehm bzw. in der Regel jedoch als wesentlich unangenehmer empfunden als vergleichsweise vom Normalhörenden. Schwerhörige sind auch in der Lage, geringere Lautstärkeunterschiede (ca. 0,5 dB) wahrzunehmen als Normalhörende (1 dB). Darauf bauen Tests der Lärmschwerhörigkeit auf (z. B. Lüscher-Test, SISI-Test). Diese Phänomene werden als Rekrutment (Lautheitsausgleich) bezeichnet (vgl. **Bild 8**).

Die überwiegende Schädigung der äußeren Haarzellen führt zum Ausfall der Schwingungsverstärkung der Basilarmembran durch die äußeren Haarzellen im schwelennahen Bereich und einer Hörschwellenanhebung um 40 dB bis 50 dB. Bei hohen Pegeln kommt es zum Ausfall der Schwingungsreduzierung der Basilarmembran durch die äußeren Haarzellen (= zentraler Schutzreflex). Dadurch wird die Schmerzschwelle schon bei geringerem Pegel erreicht, und es resultiert eine größere Steilheit des Lautstärkeanstiegs mit dem Schallpegel (vgl. **Bild 8**). Das führt zu der o.a. Wahrnehmung geringerer Lautstärkeunterschiede oberhalb der angehobenen Hörschwelle (siehe gekennzeichnete Bereich von **Bild 8**).

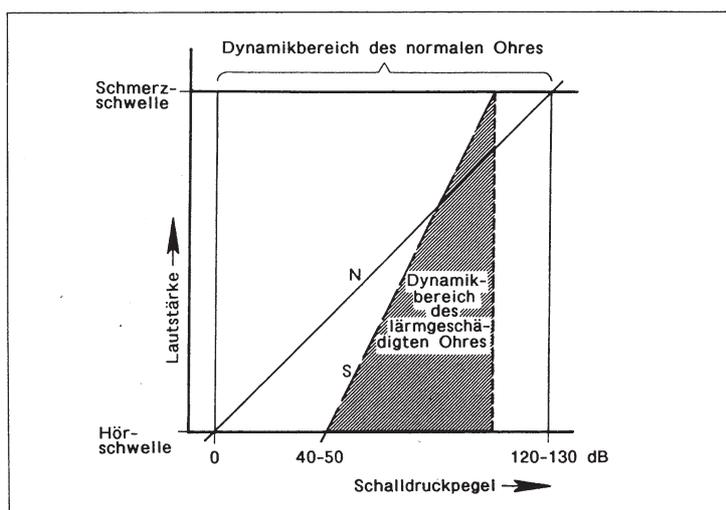


Bild 8: Wahrgenommene Lautstärke in Abhängigkeit vom Pegel bei Normal- und Schwerhörigen. Schematische Darstellung zur Erklärung der Rekrutment-Phänomene

Die Hörverluste für beide Ohren sind für den Fall chronischer Lärmbelastung annähernd gleich. Im Gegensatz dazu können Schäden durch Einzellärmergebnisse (bei unterschiedlichen Expositionsbedingungen für beide Ohren) Seitendifferenzen aufweisen.

3.2 Tinnitus und lärminduzierte Ohrenscherzen

Ohrgeräusche (**Tinnitus**) treten im Rahmen lärmbedingter Innenohrschäden, aber auch internistischer, neurologischer oder orthopädischer Erkrankungen auf. Untersuchungen bei Lärmarbeitern ergaben bei bis zu 40 % der Personen einen meist zeitweiligen hochfrequenten Tinnitus. Unter Lärmschwerhörigen klagt etwa jeder Vierte über derartige Ohrengeräusche. Wenn gleichzeitig Hörverluste bestehen, tritt das Geräusch als hochfrequente Empfindung im Bereich des größten Hörverlustes auf. Ohrgeräusche werden auch als Folge akuter akustischer Überlastung beobachtet.

Ohrenscherzen treten bei Pegeln oberhalb 120 dB(A) auf und sind im Sinne eines Übersteuerungsschmerzes zu verstehen (vgl. auch Pfander, 1975). Wenn die Schmerzschwelle überschritten wird, ist mit großer Wahrscheinlichkeit mit akuten destruktiven Veränderungen im Innenohr zu rechnen. Ohrenscherzen nach intensivem Lärm stellen daher ein deutliches Anzeichen für eine Innenohrschädigung durch die verursachende Lärmbelastung dar.

Bei kurzen und steilen Impulsen (Metallbearbeitung, Richten, Hämmern, Schießen) sind Innenohrschäden aber bereits als Folge von Lärmereignissen möglich, die subjektiv noch nicht durch Schmerzhaftigkeit auffällig sind.

3.3 Störung der Signal- und Spracherkennung bei Innenohrschäden

Die Lärmschwerhörigkeit hat wesentliche Auswirkungen auf das Sprachverständnis (Plath, 1971, Lazarus et al., 1985). Da im oberen Frequenzbereich mehr Töne als im mittleren Frequenzbereich unterschieden werden können, der Lärmschwerhörige aber im oberen Bereich eine Funktionseinbuße erleidet, ist die in der Zeiteinheit übertragbare Informationsmenge beim Lärmschwerhörigen erheblich vermindert. Bei einem Hörverlust um 4 kHz ist im Sprachbereich insbesondere das Verstehen der Konsonanten beeinträchtigt, da diese durch höhere Frequenzanteile bei gleichzeitig geringerer Intensität gegenüber den Vokalen gekennzeichnet sind, die Konsonanten aber wesentlich wichtiger als die Vokale für das Sprachverstehen sind. Damit ergibt sich eine Verzerrung des wahrgenommenen Klangbildes der Sprache, was ein, je nach Ausmaß der Schwerhörigkeit vermindertes Verständnis von Sprache bedeutet (**Bild 9**).

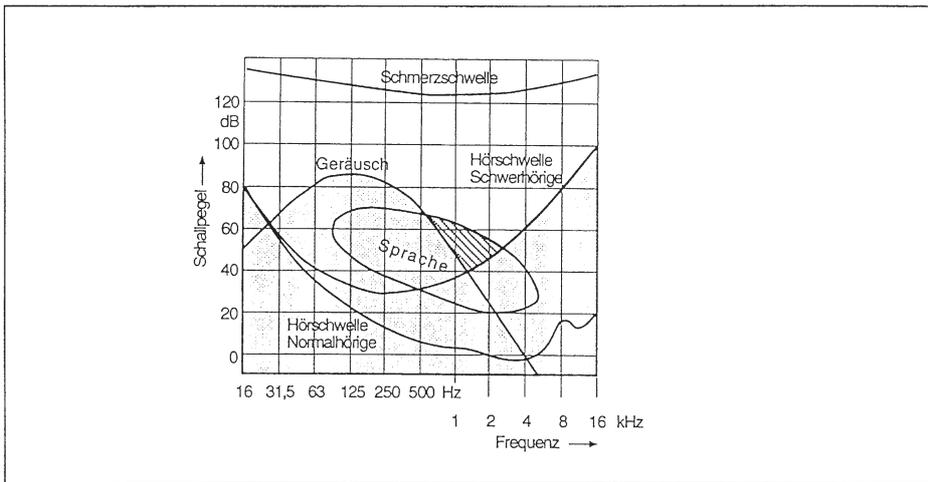


Bild 9: Einschränkung des Verstehens der Sprache bei Gehörgeschädigten durch Hörschwelle und Hintergrundgeräusch

Die Beeinträchtigung des Sprachverständnisses wird besonders bei Hintergrundgeräuschen deutlich. Wegen des Lautheitsausgleichs werden Konsonanten leiser wahrgenommen und sind durch Störgeräusche leichter verdeckbar. Auch durch Einsatz von Hörgeräten sind Sprachverständnisprobleme durch die Verzerrung der Sprache und bedingt durch das Hintergrundgeräusch nicht behebbar.

Das Ausmaß zeitweiliger oder bleibender Hörschwellenverschiebungen hängt nicht nur von der Schallenergie und dem Schalltyp (Dauer- bzw. Impulslärm) ab, sondern von einer Vielzahl anderer Faktoren, die die Abläufe im Innenohr beeinflussen.

Das Ausmaß der Schädigungswirkung von Lärm ist abhängig von seiner zeitlichen Verteilung. Die Schädigungspotenz von Lärm ist allgemein größer, wenn zum Zeitpunkt der Einwirkungen die Folgen vorangegangener Belastungen noch nicht abgeklungen sind, insbesondere wenn eine zeitweilige Hörschwellenverschiebung noch vorhanden ist. Bei der Risikoabschätzung nach ISO 1999 und VDI 2058, Blatt 2, wird eine Ruhepause von 16 Stunden pro Tag und zusätzlich Ruhe an den Wochenenden vorausgesetzt. Schallbelastungen über 70 dB(A) verhindern die Erholung des Gehörorgans von der Arbeitslärmbelastung und erhöhen damit das Gefährdungspotential des Arbeitslärms. Da solche Schallbelastungen also die Gehörerholung reduzieren oder verhindern, ist die Bedingung für wirkliche Ruhepausen ein Schallpegel unter 70 dB(A). Dies ist nicht immer gewährleistet, wenn man etwa an die Maschinen der Hobby-Heimwerker denkt oder den Musikkonsum Jugendlicher mit Kassettengeräten (vgl. Broschüre der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Gesundheitsschutz 5: »Gehörschäden durch Musik«).

Die VDI-Richtlinie 2058, Blatt 2, setzt eine Erholungszeit von täglich minde-

4 Weitere Einflußfaktoren der Schädigungswirkung von Lärm

4.1 Lärmbelastung und Ruhepausen

stens 16 Stunden voraus, in denen der Schalldruckpegel 70 dB(A) nicht überschreitet.

4.2 Arbeitsplatzbedingungen, zusätzliche Belastungen

Die Lärmwirkung am Innenohr wird durch Bedingungen modifiziert, die die vegetative Regulation, z. B. der Durchblutung, beeinflussen. Dazu gehören Faktoren, die als Streß wirken, z. B. Schichtarbeit, Arbeit unter Zeitdruck, Überforderung, bakterielle oder virale Infekte oder auch solche, die Kreislaufwirkungen entfalten (z. B. über Streßhormon-Freisetzung) und andere Eingriffe in die physiologische Regulation (vgl. Günther et al., 1989).

Unter den Arbeitsplatzbedingungen hat **Schichtarbeit** einen besonders großen Einfluß auf die Hörschwelle. Bei sonst gleicher Lärmbelastung sind die Hörverluste bei zusätzlicher Nachtschichtarbeit um 8 dB bis 10 dB größer. Dieser Befund ist gesellschaftlich relevant, denn 55 % aller Schichtarbeiter sind stark lärmexponiert (Irion & Lazarus, 1988).

Zwangshaltungen während der Arbeit beeinflussen u. U. die Innenohrdurchblutung und verstärken das Schädigungspotential von Lärm (Munzberger, 1991).

Vibration allein beeinflusst u. U. die Hörschwelle, in Kombination mit Lärm verstärkt Vibration dessen Effekte auf die Hörschwelle. Eine Gruppe mit kombinierter Lärm- und Vibrationsbelastung, wobei sich letztere in entsprechenden Krankheitssymptomen manifestierte, hatte nach über 10 Jahren Einwirkzeit 7 dB bis 12 dB stärkere Hörverluste im Frequenzbereich 4 kHz bis 8 kHz als die Vergleichsgruppe mit Lärmbelastung, aber ohne Vibrationswirkungen (Boettcher et al., 1987).

In anderen Studien ließ sich eine Verstärkung des lärmbedingten, bleibenden Hörverlustes erst dann nachweisen, wenn die Schwingbeschleunigung einen bestimmten Wert überstieg (Schmidt, 1987). Aufgrund entsprechender Untersuchungen läßt sich empfehlen, bei kombinierter Einwirkung von Lärm und Ganzkörper-Schwingungen den Lärmgrenzwert zur Vermeidung von Gehörschäden um 3 dB zu verringern, wenn die gleichzeitig einwirkende Ganzkörperschwingung über dem Expositionsgrenzwert für eine Arbeitsschicht (ISO 2621/1-1985) liegt (vgl. Sroka, 1990).

4.3 Ototoxische Substanzen

Das **Rauchen** stellt einen Risikofaktor für Innenohrschäden bei Lärmexposition dar. Als toxische Substanzen für das Innenohr sind Nikotin und Kohlenmonoxid zu nennen. Bei den Frequenzen oberhalb 3 kHz waren bei Rauchern unter stark lärmexponierten Arbeitern die Hörverluste um 8 dB–11 dB größer als bei Nichtrauchern (Zhao et al., 1993).

Das Innenohr kann durch **Pharmaka** geschädigt werden. Zu nennen sind insbesondere Zytostatika und Antibiotika aus der Gruppe der Aminoglykoside (Gentamycin), ferner Salicylsäure in höheren Dosen, z. B. in Schmerzmitteln oder in Präparaten gegen Blutgerinnung.

Ototoxische Antibiotika verstärken die Wirkung des Lärms (Boettcher et al., 1987). In Kombination mit Magnesiummangel nimmt die ototoxische Wirkung von Gentamycin drastisch zu (Vorman und Günther, 1993).

Ototoxisch wirken ferner einige **gewerbsmäßig benutzte Gefahrstoffe**. Kohlenstoffdisulfid (bei der Chemieseideherstellung verwendet) und auch Toluol (u. a. in Druckereien verwendet) verursachen in Kombination mit Lärm größere Hörschäden, als auf Grund des Lärmpegels und der Chemikalienkonzentration allein zu erwarten wäre.

1,3-Dinitrobenzol (bei der Farb- und Sprengstoffherstellung verwendet) verursacht Hirnstammschädigungen. Durch Lärm sollen diese Schäden verstärkt werden können, wobei die Hemmung von Stoffwechselprozessen durch das Dinitrobenzol entscheidend sein soll.

Als ototoxisch gelten weiterhin: Quecksilber, Tetrachlorkohlenwasserstoffe, Benzol.

Eine Gruppe mit kombinierter Belastung durch Lärm und ototoxische Arbeitsstoffe und entsprechenden Vergiftungserscheinungen hatte gegenüber der lärmbelasteten Gruppe ohne Vergiftungserscheinungen bei 3 kHz bis 6 kHz um 12 dB bis 16 dB stärkere Hörverluste (Irion et al., 1983).

Magnesium-Ionen senken als physiologischer Kalzium-Antagonist den Energieumsatz der Haarzellen. Da unter Lärmbelastung der Energieumsatz der Haarzellen eine kritische Größe werden kann (s. Kap. 2.2.2), ist ein schützender Effekt von Magnesium bezüglich Lärmschädigungen des Innenohres zu erwarten. Außerdem wird über eine Senkung des Tonus der Gefäßmuskulatur die Innenohrdurchblutung gesteigert.

Umgekehrt steigt der Hörverlust mit abnehmender Magnesiumkonzentration im Blutserum, was an einer Gruppe von Piloten gezeigt werden konnte. Die Teilgruppe mit Serum-Mg < 0.84 mmol/l hatte 13 ± 7 dB stärkere Hörverluste als die Teilgruppe mit Serum Mg > 0.84 mmol/l (Joachims et al., 1987).

Durch prophylaktische Magnesium-Gabe während des Schießtrainings konnte bei Rekruten die Häufigkeit von Hörverlusten von > 25 dB auf die Hälfte reduziert werden (Attias et al., 1993).

Aus den bisher vorliegenden Befunden kann geschlossen werden, daß Serum-Mg < 0.8 mmol/l mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer erhöhten Empfindlichkeit des Innenohrs für lärmbedingte Schäden führt. Lärmbelasteten Personen sollte deshalb bei Serum Mg-Konzentration < 0.8 mmol/l eine orale Magnesiumsubstitution mit ca. 150 mg Mg/Tag gegeben werden.

4.4 Lärmwirkungen und Magnesium-Status

4.5 Beziehungen zwischen aktueller Schädigungsempfindlichkeit und bestehender Vorschädigung

Es und bestehender Vorschädigung existiert wahrscheinlich ein kritischer Grenzwert für die Anzahl intakter äußerer Haarzellen pro Hörnervenfaser zur Gewährleistung einer »normalen« Hörschwelle. Eine Zerstörung von äußeren Haarzellen bzw. Zilienschäden dieser Zellen verändern die Hörschwelle noch nicht, wenn die Anzahl intakter Haarzellen/Hörnervenfaser noch oberhalb eines Grenzwertes liegt. Bereits bei andauernden Schwellenerhöhungen um weniger als 5 dB sind deutliche Verluste an den Zilien der äußeren Haarzellen histologisch feststellbar. Audiometrisch sind solche Schäden mit Hilfe der Ableitung otoakustischer Emissionen (OAE) faßbar.

Auch wenn sich nach Schalleinwirkung die Hörschwelle wieder normalisiert, kann u. U. eine Einschränkung der Analysenschärfe des Innenohrs bestehen bleiben, was sich als Verschlechterung der Sprachhörbarkeit besonders bei Nebengeräuschen oder bei langer Nachhallzeit in Räumen auswirkt.

Ein Teil der individuellen Lärmschädigungsempfindlichkeit ist auf die angeführte, audiometrisch nur mit Hilfe der OAE erfaßbare Vorschädigung zurückzuführen. Personen mit vorgeschädigtem Innenohr bilden daher eine Risikogruppe bezüglich lärmbedingter Hörverluste.

4.6 Lärmwirkungen in der Schwangerschaft

Die letzten drei Monate der Schwangerschaft werden als kritische Periode betrachtet, in der das Innenohr des Fötus besonders empfindlich gegenüber Lärm zu sein scheint (Lalande et al., 1986). Ob in der Schwangerschaft entstandene Hörverluste bei Kindern tatsächlich auf eine primär lärminduzierte fötale Innenohrschädigung oder mütterliche Lärmreaktionen (z. B. Katecholaminfreisetzung) zurückzuführen sind, ist ebenso ungeklärt wie die Pegelabhängigkeit solcher Schäden. Für Schwangere wird aus Vorsorgegründen ein Grenzwert von 80 dB(A) sowie die Vermeidung von Impulslärmbelastungen für die Arbeitslärmbelastung empfohlen (Klosterkötter et al., 1974, Zmarzlik, 1994).

4.7 Die physiologische Alterung des Gehörs

Bei älteren Menschen steigt die Hörschwelle mit dem Alter insbesondere bei den hohen Frequenzen zunehmend an (Presbyakusis). Dabei überlagern sich der physiologische Altersabbau und die lärmbedingte Beeinträchtigung der Innenohrfunktion. Diese beiden Prozesse verstärken sich gegenseitig:

- Durch frühere Lärmbelastung vorgeschädigte Haarzellen unterliegen einem beschleunigten physiologischen Altersabbau.
- Mit zunehmendem Alter wird die Schädigungsempfindlichkeit bei akuter Lärmbelastung größer, denn im Rahmen des physiologischen Altersabbaues reagieren »vorgeschädigte« Haarzellen empfindlicher auf eine lärmbedingte Zusatzbelastung als jugendliche, gesunde Zellen.

Für die Bewertung gehörschädigender Lärmwirkungen wurde das Energieäquivalenz-Prinzip formuliert. Dieses Prinzip geht davon aus, daß nur die auf das Ohr insgesamt einwirkende Schallenergie das Ausmaß der resultierenden Schädigung bestimmt, das ist der äquivalente Dauerschallpegel über eine Arbeitszeit von 8 Stunden pro Tag $L_{Aeq,8h}$. Da das Energieäquivalenz-Prinzip in erster Näherung viele Befunde noch hinreichend genau beschreibt, stellt es den Ausgangspunkt der Schallbewertung dar (ISO 1999). In Deutschland wird entsprechend dem Energieäquivalenzprinzip der Beurteilungspegel (L_{Ar}) für die Beurteilung der Gehörgefährdung durch Lärm herangezogen (VDI 2058, Blatt 2).

Grundlage für die Beurteilung von Arbeitslärm ist der Beurteilungspegel, der für gleichförmige Geräusche dem äquivalenten Dauerschallpegel bezogen auf eine 8-Stunden-Arbeitsschicht (L_{Ar}) entspricht:

$$L_{Ar} = L_{Aeq,8h}$$

Auch wenn die Arbeitszeit mehr oder weniger als 8 Stunden beträgt, wird in der Regel der Pegel für jeden Arbeitsplatz bezogen auf 8 Stunden bestimmt.

Ein »kritischer Pegel« zur absoluten Vermeidung von lärmbedingten Gehörschäden, der mithin ein »Nullrisiko« impliziert, liegt bei etwa 75 dB(A). Für diesen Pegel wird angenommen, daß simultan mit dem Lärm dieser Intensität Erholungsvorgänge ablaufen können. Die gängigen Grenzwertfestlegungen gehen indessen von der Intention aus, die Entstehung von Gehörschäden bei über 90 % der durch Lärm betroffenen Personen zu vermeiden.

Nach der Arbeitsstättenverordnung und UVV Lärm beträgt der zulässige Beurteilungspegel bei 8 Stunden pro Tag oder in Ausnahmefällen bei 40 Stunden pro Woche $L_{Ar} = 85$ dB (siehe auch VDI 2058, Blatt 2). Für diese Schallbelastung ist in **Bild 10** der Zusammenhang zwischen der täglichen Einwirkungszeit und dem Pegel im Bereich zwischen 85 dB(A) und 115 dB(A) angegeben. Bei Überschreitung des Beurteilungspegels von 85 dB(A) wird eine Gefahr für Gehörschaden angenommen und eine Reihe von Lärmschutzmaßnahmen vorgeschrieben. Wird der Beurteilungspegel von 90 dB(A) überschritten, sind verstärkte Lärmschutzmaßnahmen festgelegt (EG-Richtlinie 86/188, UVV Lärm).

5 Schadensrisikomodelle für Arbeitslärm

5.1 Das Energieäquivalenzprinzip

5.2 Kriterien für die Beurteilung der gehörschädigenden Wirkung durch Lärm: der Beurteilungspegel

5.2.1 Schädigungskriterien für gleichförmigen Lärm

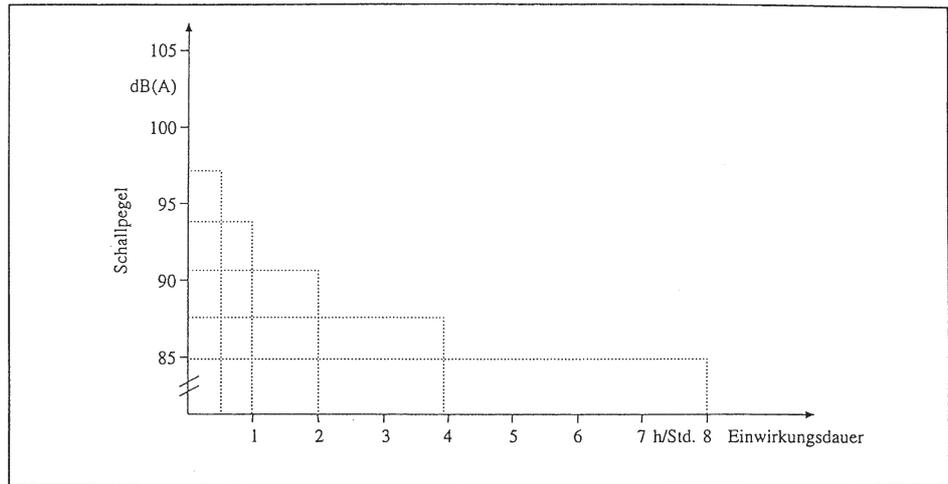


Bild 10: Zusammenhang zwischen Einwirkungszeit und Schallpegel

In **Tabelle 1** (nach VDI 2058, Blatt 2) ist der Anteil der Personen, die einen Gehörschaden von ≥ 40 dB bei 3 kHz in einem bestimmten Alter erleiden, für unterschiedliche Schallbelastungen (Pegel, Einwirkungszeit) dargestellt.

Expos. dauer (Jahre)	Alter (Jahre)	Gehörschadensrisiko in %				
		Beurteilungspegel in dB(A)				
		80	85	90	95	100
10	30	<5	<5	<5	5	25
	40	<5	<5	<5	10	30
	50	<5	3*	9	21	40
	60	12	16	25	37	54
20	40	<5	<5	<5	17	42
	50	<5	4*	12	28	51
	60	12	17	28	44	65
30	50	<5	5	13	33	60
	60	13	18	30	47	72
40	60	14	18	31	50	77

* geschätzt

Tabelle 1: Risiko für Hörverluste ≥ 40 dB bei 3 kHz in unterschiedlichen Schallbelastungen (Beurteilungspegel, Einwirkungszeit)

Beispiel: Von 100 fünfzigjährigen Betroffenen, die 30 Jahre einem Beurteilungspegel von 85 dB(A) oder 90 dB(A) ausgesetzt sind, haben 5 % oder 13 % einen Gehörschaden der höher ist als 40 dB bei 3 kHz.

5.2.2 Schädigungskriterien für Impulslärm

Impulshaltiger Lärm impliziert ein größeres Gehörschadensrisiko als durch ISO 1999 festgelegt, so daß die alleinige Bezugnahme auf den äquivalenten Dauerschallpegel $L_{eq,8h}$ nicht hinreichend ist. Gegenwärtig liegt aber für impulshaltige Geräusche noch kein international allgemein akzeptiertes Ver-

fahren zur Bewertung der Lärmimmission bezüglich des Risikos einer Gehörschädigung vor (Spreng et al., 1991). In der EG Richtlinie (86/188) wird es deswegen den einzelnen Ländern freigestellt, ein Verfahren zu Messung und Beurteilung von impulshaltigen Geräuschen festzulegen.

Da an ca. 30 % der Arbeitsplätze mit gehörgefährdendem Lärm impulshaltige Geräusche oder Impulslärm auftritt und wie ausgeführt für impulshaltige Geräusche ein erhöhtes Risiko vorliegt, ist es erforderlich, dieses durch ein geeignetes Meß- und Bewertungsverfahren in Rechnung zu stellen.

Die zur Zeit am häufigsten benutzte Impulsbewertung ist die Methode des Impulszuschlages. Danach wird der Beurteilungspegel aus dem äquivalenten Dauerschallpegel ($L_{Aeq,8h}$) und einem Impulszuschlag K_I ermittelt (VDI 2058, Blatt 2, DIN 45645, Teil 2).

Der Impulszuschlag wird aus der Differenz $K_I = L_{A_{Ieq}} - L_{Aeq}$ zwischen dem mit der Zeitbewertung »Impuls« ermittelten AI-bewerteten Dauerschallpegel ($L_{A_{Ieq}}$) und dem A-bewerteten Dauerschallpegel mit der Zeitbewertung »Fast« oder »Slow« ermittelt. Die Differenzen K_I liegen bei Industrieräuschen bei 2 db bis 8 dB (Lazarus, 1977). Dieser Impulszuschlag kann bis 6 dB auch geschätzt werden. Falls der Impulszuschlag als einzelner Wert nicht interessiert, kann der Beurteilungspegel (L_{Ar}) für impulshaltige Geräusche aus dem A_I-bewerteten Dauerschallpegel ($L_{A_{Ieq}}$) direkt durch eine einzige Messung ermittelt werden ($L_{Ar} = L_{A_{Ieq}}$). Die fluktuierenden bzw. impulsförmigen Schallereignisse, die dem kontinuierlichen Schall überlagert sein können, werden dann nach DIN 45645 Teil 2 (1994) mit der Zeitbewertung I = Impuls als AI-bewerteter Dauerschallpegel ermittelt. In der UVV Lärm wird der Impulszuschlag eingeschränkt, das heißt, vorwiegend für die Kennzeichnung der Lärmbereiche (90 dB(A)) soweit Maschinen und Arbeitsvorgänge mit impulshaltigen Geräuschen und einem $K_I \geq 2$ dB vorhanden sind.

Um ein Gehörschadensrisiko durch einzelne Schallimpulse zu reduzieren, werden maximal zulässige Spitzenpegel angegeben (**s. Tabelle 2**).

	Quelle	Meßgröße	Maximalwert
Einzelimpuls	EU-Richtlinie (86/188)	L_{peak}	140 dB
Impulsfolgen	UVV Lärm	$LA_{I,max}$	130 dB
Impulsfolge	VDI 2058, Blatt 2	$L_{A,max}$	120 dB

Tabelle 2: Spitzenschalldruckpegel, der nicht überschritten werden darf, um Gehörschaden zu vermeiden

Für tonale Komponenten von Geräuschen gilt ein Zuschlag von 0 dB bis 6 dB, der in Abhängigkeit von der Auffälligkeit der tonalen Komponente gewählt wird.

5.3 Berechnung des Beurteilungspegels

Hier soll an einigen Beispielen gezeigt werden, wie man den Beurteilungspegel für unterschiedliche Lärmbelastungen berechnen kann. Aus der Höhe des Beurteilungspegel kann dann die x-fache Überschreitung des zulässigen Beurteilungspegels von 85 dB(A) abgelesen werden (vgl. Ising et al., Broschüre Gesundheitsschutz Nr. 4, 1995, S. 27).

Der Einfachheit halber werden hier nur Geräusche ohne Impuls- und Tonzuschlag betrachtet, sodaß der Beurteilungspegel (L_{Ar}) ohne die Zuschläge dem äquivalenten Dauerschallpegel entspricht

$$L_{Ar} = L_{Aeq,8h}$$

Die im Ohr eintreffende Schallintensität (I) ist dem Schalldruckquadrat (p^2) proportional

$$I \sim p^2$$

In Schallpegeln ausgedrückt ist das

$$L = 10 \lg I/I_0 = 10 \lg (p/p_0)^2$$

in dB oder dB(A).

Für das tägliche Hörschadensrisiko ist die Schallenergie (E) maßgebend. Das ist die Zeit multipliziert mit der Schallintensität (Schalleistung)

$$E \sim p^2 \cdot T$$

Energie ist bekanntlich Leistung multipliziert mit Zeit.

Aus dem Schallpegel (L) und der Einwirkungszeit (T) soll der äquivalente 8-Stunden-Dauerschallpegel ($L_{Aeq,8h}$) berechnet werden. Dafür wird zunächst die Schallintensität bestimmt:

$$\text{Schallintensität: } I \sim p^2 \sim 10^{L/10}$$

Da wir die Schallenergie auf die Einwirkungszeit von 8 Stunden (8h) beziehen wollen, gilt:

$$\text{Schallenergie}_{8h}: E = 10^{L/10} \cdot T/8$$

Um den äquivalenten 8-Stunden-Dauerschallpegel bzw. Beurteilungspegel zu erhalten, wird die Schallenergie logarithmiert und mit 10 multipliziert. Als Formel geschrieben gilt:

$$L_{Ar} = L_{Aeq,8h} = 10 \lg (10^{L/10} \cdot T/8) \text{ dB(A)}$$

Wenn mehrere Schallpegel (L_1, L_2) für die Dauer (T_1, T_2 in Stunden) einwirken, gilt die Gleichung, wobei die Energie einfach summiert wird:

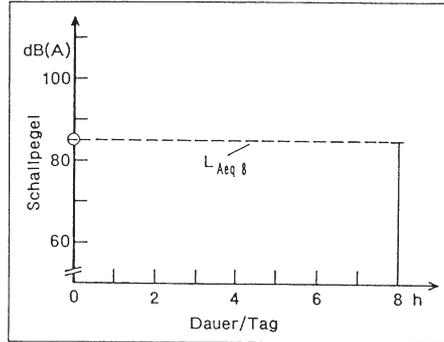
$$L_{Ar} = L_{Aeq,8h} = 10 \lg (T_1/8 \cdot 10^{L_1/10} + T_2/8 \cdot 10^{L_2/10}) \text{ dB(A)}$$

Im folgenden sind einige Beispiele für die Berechnung des Beurteilungspegels bzw. des 8-Stunden Dauerschallpegels für einige Arbeitsplätze dargestellt:

1. Beispiel

Welchem 8-Stunden-Dauer-schallpegel ist eine Belastung mit 112 dB(A) für 1 Minute äquivalent?

$$L_{Aeq,8h} = 10 \lg (10^{L_{11,2}} \cdot 1/60 \cdot 1/8) = 85,2 \text{ dB(A)}$$

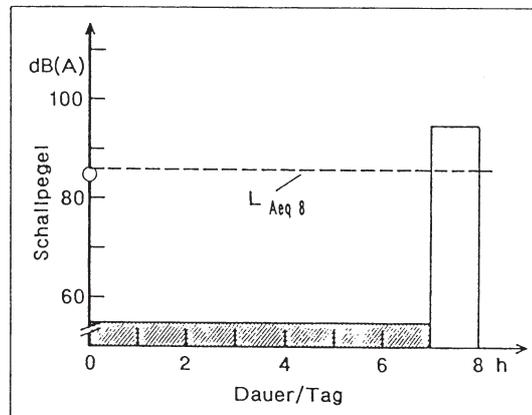


Man erkennt sofort: durch eine so kurze, aber relativ hohe Schallbelastung erreicht man schon den zulässigen Wert. In der Regel werden diese kurzen Schallbelastungen unterschätzt.

2. Beispiel

Ein Meister arbeitet 7 Stunden in seinem Büro bei 55 dB(A) und 1 Stunde lang in der Montagehalle bei 95 dB(A). Wie hoch ist sein 8-Stunden-Dauer-schallpegel?

$$L_{Aeq,8h} = 10 \lg (10^{5,5} \cdot 7/8 + 10^{9,5} \cdot 1/8) = 86 \text{ dB(A)}$$

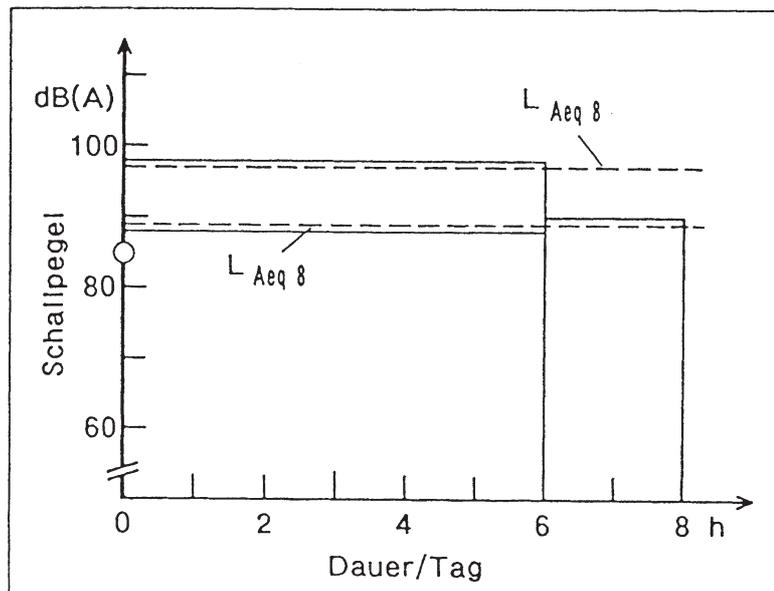


Bei der Rechnung wird deutlich, daß die Lärmbelastung über die 7 Stunden bei 55 dB(A) ($10^{5,5} \cdot 7/8$) vollkommen vernachlässigbar ist gegenüber der bei 95 dB(A) ($10^{9,5} \cdot 1/8$).

3. Beispiel

Ein Arbeiter ist an zwei Maschinen tätig. Der eine Arbeitsplatz (1) hat einen Schallpegel von $L_{Aeq,8h} = 98 \text{ dB(A)}$, er ist dort 6 Stunden beschäftigt. Der andere Arbeitsplatz (2), an dem er zwei Stunden tätig ist, hat einen Pegel von $L_{Aeq,8h} = 90 \text{ dB(A)}$. Wie hoch ist der 8-Stunden Dauer-schallpegel:

$$L_{Aeq,8h} = 10 \lg (10^{9,8} \cdot 6/8 + 10^9 \cdot 2/8) = 97 \text{ dB(A)}$$

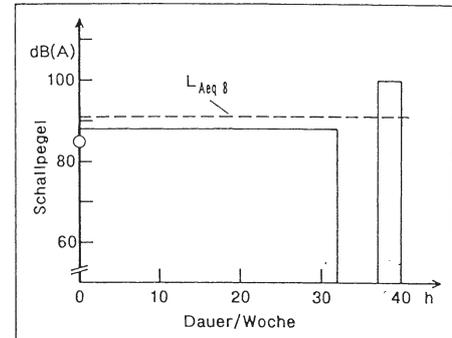


Das entspricht einer Überschreitung des zulässigen Beurteilungspegels um ca. das 4fache. Wird die Maschine am Arbeitsplatz (1) durch eine Maschine 10 dB(A) geringerer Geräuschabstrahlung ersetzt, sodaß am Arbeitsplatz (1) nur noch $L_{Ar} = 88 \text{ dB(A)}$ herrschen, ergibt das einen $L_{Aeq,8h}$, der geringer als 90 dB(A) ist, der zulässige Wert von 85 dB(A) ist dann nur noch um das Doppelte überschritten.

4. Beispiel:

Ein Lehrling ist am Arbeitsplatz 88 dB(A) (L_1) ausgesetzt, allerdings nur 4 Tage pro Woche, da er an einem Tag die Berufsschule besucht. Einmal wöchentlich geht er im Durchschnitt für 3 Stunden in eine Disco mittlerer Lautstärke (L_2), wo der Musikpegel im Mittel 100 dB(A) beträgt. Wie hoch ist sein Dauerschallpegel bezogen auf 8 Stunden pro Tag bzw. 40 Stunden pro Woche?

$$\begin{aligned} L_{Aeq,8h} &= \\ 10 \lg (108,8 \cdot 32/40 + 1010 \cdot 3/40) &= \\ &= \\ \mathbf{91 \text{ dB(A)}} & \end{aligned}$$



Die Verringerung der Einwirkdauer am Arbeitsplatz auf 4 Tage reduziert den Arbeitslärm im Wochenmittel nur um 1 dB. Die drei Stunden in der Disco führen allein bereits zu einer wöchentlichen bzw. täglichen Belastung von $L_{Aeq,8h} = 89 \text{ dB(A)}$. Die tatsächliche Belastung überschreitet den zulässigen Wert um das Vierfache.

Die in der Industrie und im Handwerk auftretenden Lärmbelastungen, die wie dargestellt etwa 5 Millionen Arbeitnehmer betreffen, liegt in der Metall- und Holzbearbeitung und auf dem Bau bei 80 dB(A) bis 110 dB(A), was einer Überschreitung bei 95 dB(A) um das 10fache und bei 105 dB(A) um das 100fache des zulässigen Wertes von 85 dB(A) entspricht.

Diesen Lärmbelastungen sind die Arbeitnehmer in der Regel über Jahrzehnte jeden Tag 8 Stunden ausgesetzt. Um die Lärmbelastungen zu senken, sind eine Reihe technischer Maßnahmen vorgesehen (UVV Lärm, EN31690), wobei deutlich wird, daß eine Pegelsenkung um 10 dB(A) von 105 dB(A) auf 95 dB(A) das Gehörschadensrisiko wesentlich stärker reduziert als eine Pegelsenkung von 95 dB(A) auf 85 dB(A).

6 Schrifttum

Attias, J.; Weisz, G.; Almog, S.; Shahar, A.; Wiener, M., Joachims, Z.; Netzer, A.; Ising, H.; Rebentisch, E.; Günther, T.: Oral Magnesium Intake Reduces Permanent Hearing Loss Induced by Noise exposure. in: American Journal of Otolaryngology, 15, 1, (1994), 26–32.

Boettcher, F. A.; Henderson, D.; Gratton, M. A.; Danielson, R. W.; Byrne, C. D.: Synergistic Interactions of Noise and Other Ototraumatic Agents in: Ear and Hearing, 8, 4, (1987), 192–212.

Dieroff, H.-G.: Die Lärmschwerhörigkeit in der Industrie. Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig 1963.

Dieroff, H. G.: Lärmschwerhörigkeit. Gustav Fischer Verlag, Jena/Stuttgart 1994.

EG-Richtlinie 86/188 Richtlinie des Rates vom 12. Juni 1986 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdungen durch Lärm am Arbeitsplatz, ABL. Nr. L 137 vom 24. 5. 1986, S. 28.

Hohmann, B. W.: Untersuchungen zur Gehörschädlichkeit von Impulslärm. Dissertation, ETH Zürich, Nr. 7504, Zürich 1984.

Irion, H.; Roßner, R. & Lazarus, H.: Entwicklung des Hörverlustes in Abhängigkeit von Lärm, Alter und anderen Einflüssen, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – Forschung – Nr. 370, Dortmund 1983.

Ising, H.; Sust, Ch. A. & Plath, P.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund 1995, Broschüre Gesundheitsschutz Nr. 4, Lärmwirkungen – Gehör, Gesundheit, Leistung.

Ising, H., Sust, Ch. A. & Rebentisch, E.: Auswirkungen von Lärm auf Gesundheit, Leistung und Kommunikation und Arbeitsmedizin, Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 98: Lärmbeurteilung – Extra-aurale Wirkungen, BAuA, Dortmund, 1995.

ISO 1999: Assessment of occupational noise exposure for hearing conversation purpose. 1975 und 1988.

ISO 2631/1: Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements 1985.

Joachims, Z., Ising, H., Günther, T.: Biochemical mechanisms affecting susceptibility to noise-induced hearing loss. in: American Journal of Otology 10 (1989) 36–41.

Klosterkötter, W.: Experimentelle Untersuchungen zur Frage der Lärmgrenzwerte für werdende Mütter am Arbeitsplatz. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – Forschung – Nr. 132, Dortmund, 1974.

Lalande, N. M., Hetu, R., Lambert, J.: Is occupational noise exposure during

pregnancy a risk factor of damage to the auditory system of the fetus? in: American Journal of Industrial Medicine 10 (1986) 427–435.

Lazarus, H., Lazarus-Mainka, G., Schubeius, M.: Sprachliche Kommunikation unter Lärm. F. Kiehl Verlag, Ludwigshafen, 1985.

Lazarus, H.: Ermittlung des Beurteilungspegels am Arbeitsplatz gemäß Arbeitsstättenverordnung. Betriebslärmbekämpfung, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1977.

Luz, G. A., Hodge, D. C.: Recovery from impulse noise induced TTS in monkeys and men: a descriptive model. in: J. Acoust. Soc. Am. 49 (1971) 1770–1777.

MRC Institute of Hearing Research: Damage to hearing arising from leisure noise: A review of the literature. University of Nottingham, 1984.

Münzberger, E. & Schultz, K.: Zeitweilige Hörschwellenabwanderung bei gleichzeitiger Exposition gegenüber Lärm und Haltearbeit in: Z. Arbeitswissenschaft 44 (1991), 2, 110–112.

Pfander, F.: Das Knalltrauma. Springer, Berlin, 1975.

Plath, P.: Das Ton- und Sprachgehör bei Lärmschäden des Ohres. Schattaueer, Stuttgart, 1971.

Schmidt, M.: Die gemeinsame Einwirkung von Lärm und Ganzkörper(GK)-Vibration und deren Auswirkung auf den Hörverlust bei Agrotechnikern, Dissertation A, Universität Halle/Saale, 1987.

Schwarze, S.: Langjährige Lärmbelastung und Gesundheit. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – Forschung – Nr. 636, Dortmund, 1991.

Spreng, M., Leupold, S., Firsching P.: Gehörschäden durch Impulsgeräusche. Vorschlag für ein gehörschadensrichtiges Impulsbewertungssystem. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – Forschung – Nr. 630, Dortmund, 1991.

Sroka, C.: Zeitweilige Hörschwellenverschiebungen bei kombinierter Einwirkung von Lärm und Ganzkörpervibration, Dissertation A, Technische Universität Dresden, 1990.

Sust, Ch. A.: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 100: Lärmbeurteilung – Büro-Arbeitsplätze, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 1996.

Sust, Ch. A.: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 103: Lärmbeurteilung – Schule, Aus- und Weiterbildung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 1996.

Sust, Ch. A.: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 102: Lärmbeurteilung

lung – Montagetätigkeiten, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 1996.

Sust, Ch. A.: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 101: Lärmbeurteilung – Überwachungs- und Steuerungstätigkeiten, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 1996.

UVV Lärm Unfallverhütungsvorschrift Lärm: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften Köln, Carl Heymanns Verlag, 1990, VBG 121.

VDI-Richtlinien: Beurteilung von Arbeits- und Freizeitlärm hinsichtlich Gehörschäden. VDI 2058. Beuth-Verlag GmbH, Berlin, 1988.

Zenner, H. P., Gitter, A. H.: Die Schallverarbeitung des Ohres. in: Physik unserer Zeit 18 (1987) 97–105.

Zhao, Y; Liu, H.; Du, D.; Zhao, C. & Lu, Y.: Adverse effects of smoking for noise induced hearing loss among workers in Beijing, in: Vallet, M.: Noise & Man '93, Inrets, Arcueil Cedex, 1993.

Zmarzlik, J. et al.: Mutterschutzgesetz, Mutterschaftsleistungen, Bundeserziehungsgeld. Heymann, Köln, 1994 (7. Neub. und erw. Auflage).

Zwicker, E., Feldtkeller, R.: Das Ohr als Nachrichtenempfänger. Hirzel, Stuttgart, 1967.

Jetzt griffbereit in

3 SAMMELORDNERN

Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse

Forschungsergebnisse für die Praxis

mit allen bisher erschienenen Ausgaben

Anrecht auf Nachlieferung an die Abonnenten

Inhaltsverzeichnis

„Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse“

Band 1

1/79	Lärminderung durch Abschirmung
2/79	Bildschirmarbeitsplätze (2. Auflage 1989)
3/79	Werkzeuge – Schraubendreherhefte
4/79	Werkzeuge – Feilenhefte
5/79	Lärminderung – Behälterfertigung 1
6/79	Lärminderung – Druckluftauslaß
7/79	Lärminderung – Getränkeabfüllung 1
8/79	Lärminderung – Holzbearbeitung 1
9/79	Lärminderung – Putztrommel
10/79	Lärminderung – Schnellläuferpresse 1
11/79	Lärminderung – Begriffssammlung

1/80	Kassenarbeitsplätze
2/80	Lärminderung – Zangenvorschub 1
3/80	Lärminderung – Druckluftnagler
4/80	Lärminderung – Schwingförderer
5/80	Lärminderung – Gleitschleifmaschinen
6/80	Lärminderung – Schnellläuferpresse 2
7/80	Lärminderung – Druckluftanwendung 1
8/80	Lärminderung – Behälterfertigung 2
9/80	Lärminderung – Blechcontainer 1
10/80	Lärminderung – Blechcontainer 2
11/80	Lärminderung – Blechcontainer 3
12/80	Lärminderung – Schleifpapierherstellung

1/81	Lärminderung – Förderbandaufgabestation
2/81	Lärminderung – Luftansauggeräusche
3/81	Lärminderung – Hydraulikpresse
4/81	Lärminderung – Zangenvorschub 2
5/81	Stehbelastung – Verkaufspersonal
6/81	Schwingungsminderung – Fahrersitze

1981 Keine weiteren Veröffentlichungen

1982 Keine weiteren Veröffentlichungen

1/83	Personensicherungssysteme – Einzelarbeitsplätze
2/83	Innerbetriebliche Verkehrsdiagnose
3/83	Innerbetriebliche Verkehrstherapie
4/83	Schienenfahrzeuge – Rangierhilfen

Ab 1984 neue Numerierung nach dem Dezimalstellensystem

Nr. 1	Lärminderung – Holzbearbeitung 2
Nr. 2	Lärminderung – Holzbearbeitung 3
Nr. 3	Lärminderung – Holzbearbeitung 4
Nr. 4	Lärminderung – Holzbearbeitung 5
Nr. 5	Lärminderung – Holzbearbeitung 6
Nr. 6	Lärminderung – Holzbearbeitung 7
Nr. 7	Lärminderung – Holzbearbeitung 8
Nr. 8	Lärminderung – Körperschalldämpfung
Nr. 9	Lärminderung – Abschirmung 2
Nr. 10	Lärminderung – Getränkeabfüllung 2
Nr. 11	Lärminderung – Metallbearbeitung 1
Nr. 12	Lärminderung – Metallbearbeitung 2
Nr. 13	Lagerung von Coils
Nr. 14	Lagerung von Bandstahlringen
Nr. 15	Lärminderung – Dämpfungsbelege
Nr. 16	Lärminderung – Getränkeabfüllung 3
Nr. 17	Arbeitsplatzgestaltung – Sehbehinderte

Band 2

Nr. 18	Lärminderung – Blechbearbeitung 1
Nr. 19	Lärminderung – Metallbearbeitung 3
Nr. 20	Lärminderung – Blechbearbeitung 2
Nr. 21	Lärminderung – Blechbearbeitung 3
Nr. 22	Lärminderung – Getränkeabfüllung 4
Nr. 23	Lärminderung – Getränkeabfüllung 5
Nr. 24	Lärminderung – Rutschen
Nr. 25	Lärminderung – Schmiedepressen
Nr. 26	Lärminderung – Schleifscheiben – Fertigdrehmaschine
Nr. 27	Lärminderung – mechanische Schneidpresse
Nr. 28	Lärminderung – Schnellläuferpresse 3
Nr. 29	Lärminderung – Bandsäge
Nr. 30	Lärminderung – Gußkästenausleerstation
Nr. 31	Schwingungsminderung – Fahrersitze 2
Nr. 32	Schwingungsminderung – Fahrersitze 3
Nr. 33	Schwingungsminderung – Krankabinnen
Nr. 34	Schwingungsminderung – Motorkettensägen
Nr. 35	Schwingungsminderung – Elektroböhrhämmer
Nr. 36	Gestaltung von Schmiedezangen
Nr. 37	Arbeitsitze 1
Nr. 38	Metallbearbeitung 4
Nr. 39	Arbeitsitze 2
Nr. 40	Lärminderung – Bohr- und Gewindehalbautomat
Nr. 41	Lärminderung – Transporteinrichtung 1
Nr. 42	Lärminderung – 350-KN Exzenterpresse
Nr. 43	Lärminderung – Drahtflechtmaschine
Nr. 44	Lärminderung – Transporteinrichtung 2
Nr. 45	Lärminderung – Transporteinrichtung 3
Nr. 46	Lärminderung – Metallbearbeitung 5
Nr. 47	Lärminderung – Transporteinrichtung 4
Nr. 48	Lärminderung – Drahtabkühlrolle
Nr. 49	Lärminderung – Transporteinrichtung 5
Nr. 50	Lärminderung – Schweißautomat
Nr. 51	Lärminderung – Kathodenofen
Nr. 52	Lärminderung – Wendelwickelmaschine
Nr. 53	Lärminderung – Offsetrotationsdruckmaschine
Nr. 54	Verwendung von Stehhilfen
Nr. 55	Arbeitsplatzcomputer – Geräuschemission
Nr. 56	Lärminderung – Verschleißmaschine
Nr. 57	Lärminderung – Blechbearbeitung 4
Nr. 58	Lärminderung – Blechbearbeitung 5
Nr. 59	Lärminderung – Kunststoffspritzgießmaschine
Nr. 60	Lärminderung – Metallkreissäge
Nr. 61	Lärminderung – Vorschmelzofen
Nr. 62	Lärminderung – Zusammenbau
Nr. 63	Korrekturbrillen am Arbeitsplatz
Nr. 64	Lichttechnische Gestaltung von Halleneinfahrten
Nr. 65	Persönliche Schutzausrüstung 1
Nr. 66	Persönliche Schutzausrüstung 2
Nr. 67	Persönliche Schutzausrüstung 3
Nr. 68	Lärminderung – Transporteinrichtung 6
Nr. 69	Lärminderung – Transporteinrichtung 7
Nr. 70	Lärminderung – Transporteinrichtung 8

Band 3

Nr. 71	Lärminderung – Materialauswurf 1
Nr. 72	Lärminderung – Materialauswurf 2
Nr. 73	Lärminderung – Rohrreinigung
Nr. 74	Lärminderung – Rohrbearbeitung
Nr. 75	Lärminderung – Nibbelmaschine
Nr. 76	Lärminderung – Rommeln
Nr. 77	Lärminderung – Druckluftbohrmaschine
Nr. 78	Reinigung von Fliesen in Großküchen
Nr. 79	Lärminderung an Kommunalfahrzeugen
Nr. 80	Einsatz von Steinverlegegeräten
Nr. 81	Handgeschobene Wagen
Nr. 82	Lärminderung – Metallbearbeitung 6
Nr. 83	Stellteile
Nr. 84	Beleuchtungsanlagen
Nr. 85	Geräuschdatenblatt
Nr. 86	Kfz-Werkstätten
Nr. 87	Hochseefischerei
Nr. 88	Geräuschemission 1
Nr. 89	Geräuschemission 2
Nr. 90	Geräuschemission 3
Nr. 91	Geräuschemission 4
Nr. 92	Mischarbeit in Büro und Verwaltung 1
Nr. 93	Mischarbeit in Büro und Verwaltung 2
Nr. 94	Mischarbeit in Büro und Verwaltung 3
Nr. 95	Arbeitsschutz beim Schweißen
Nr. 96	Goldschmiede- und Schmuckarbeiten

Stand: Juli 1996