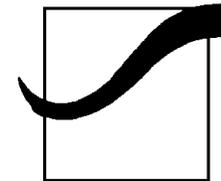

Grundlagen Lärm und Lärmschwerhörigkeit



Dr. biol. hom. Dipl.-Ing. Th. Steffens
Uni-HNO-Klinik Regensburg



Version: 27.11.19

Stille, ein kulturübergreifender Wert

**„Am Waldessaume träumt die Föhre,
am Himmel weiße Wölkchen nur,
es ist so still, dass ich höre,
die tiefe Stille der Natur“**

Theodor Fontane

„Stille ist die größte Offenbarung“

Laotse

**„Eines Tages wird der Mensch den Lärm so unerbittlich
bekämpfen müssen wie die Cholera und die Pest.“**

(Robert Koch, 1843 – 1910)

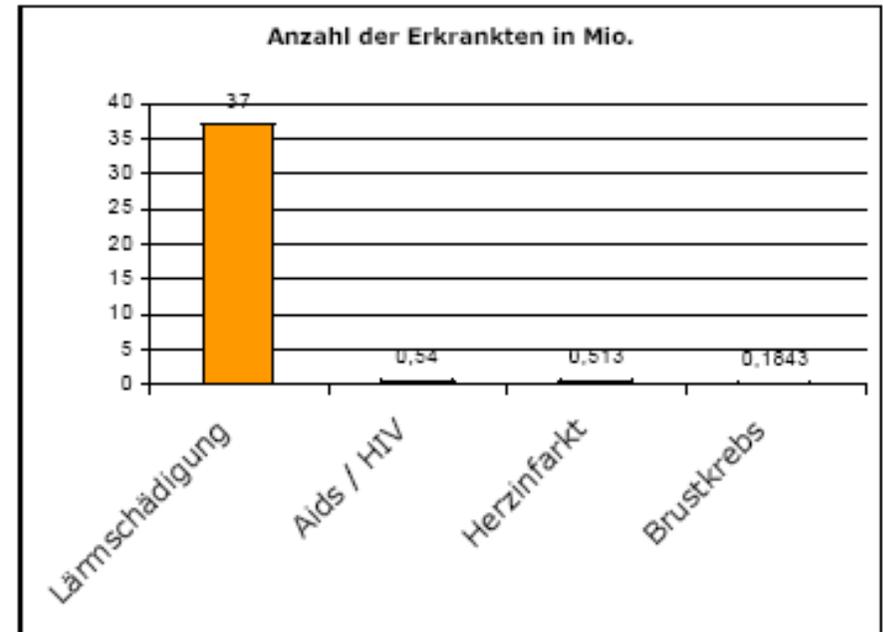
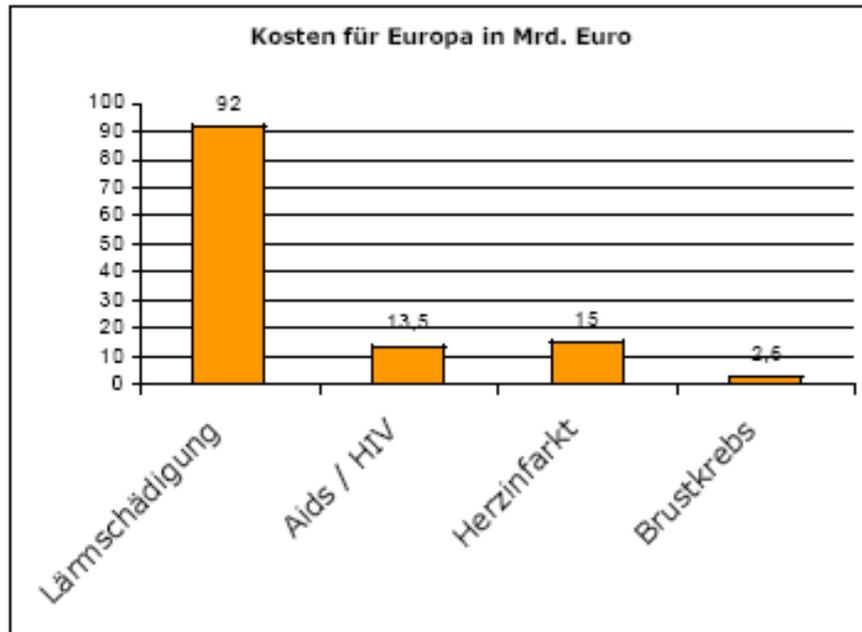


Getty Images/Bettmann Archive

Der Büroarbeiter auf diesem Bild heißt Hugo Gernsbach, war Erfinder und Science-Fiction-Autor, stammte aus New York und hatte 1925 diesen "Isolator" erfunden, den er hier vorführt. Die Haube, lobte der Erfinder, reduziere nicht nur den Lärm von der Straße und aus dem Büro, sondern halte auch unangenehme Gerüche fern. Das Ding sei deshalb "sehr praktisch". Damit der Träger seinen perfekt geschützten Arbeitstag auch überlebt, war die Haube per Schlauch mit einer Sauerstoffflasche verbunden.

Spiegel online 22.05.2017

Erkrankungen durch Lärm sind auch ein Kostenproblem



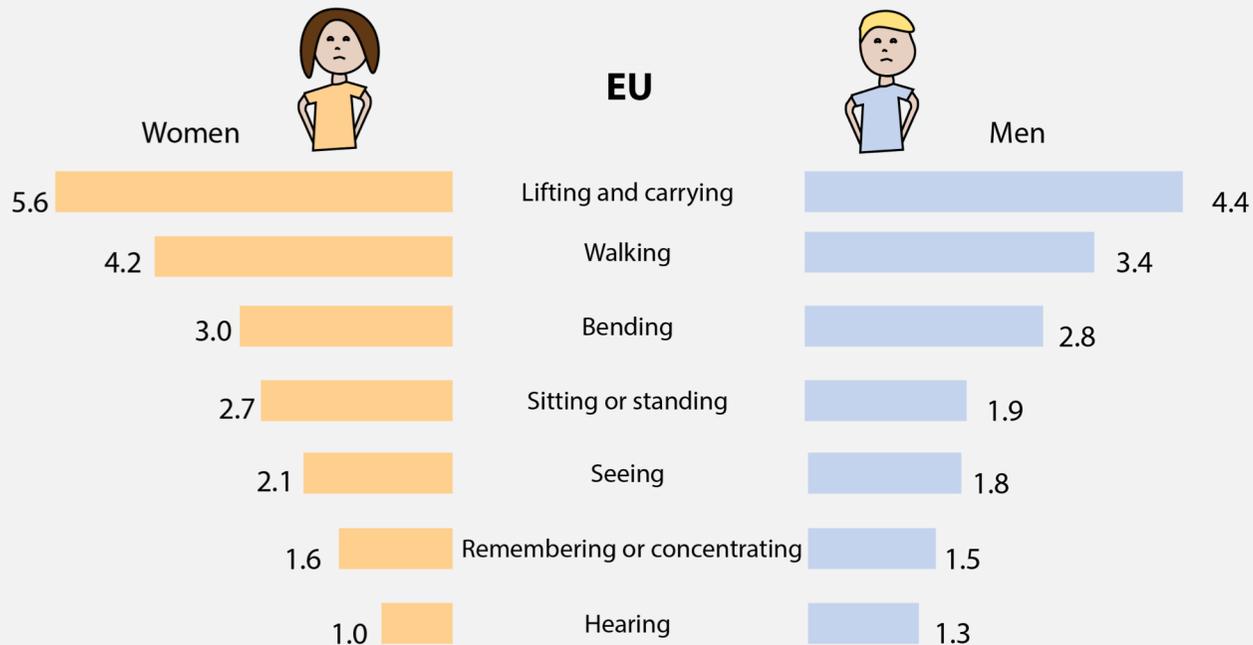
EUROSTAT Disability Statistics 2017

Disabilities among the working age population

One person out of seven reports a basic activity difficulty

Lifting and carrying are the most frequently reported difficulties

The most frequently reported basic activity difficulties by women and men aged 15-64
(number of cases per 100 people)



Arbeitsmedizin:

Probleme durch Lärm am Arbeitsplatz

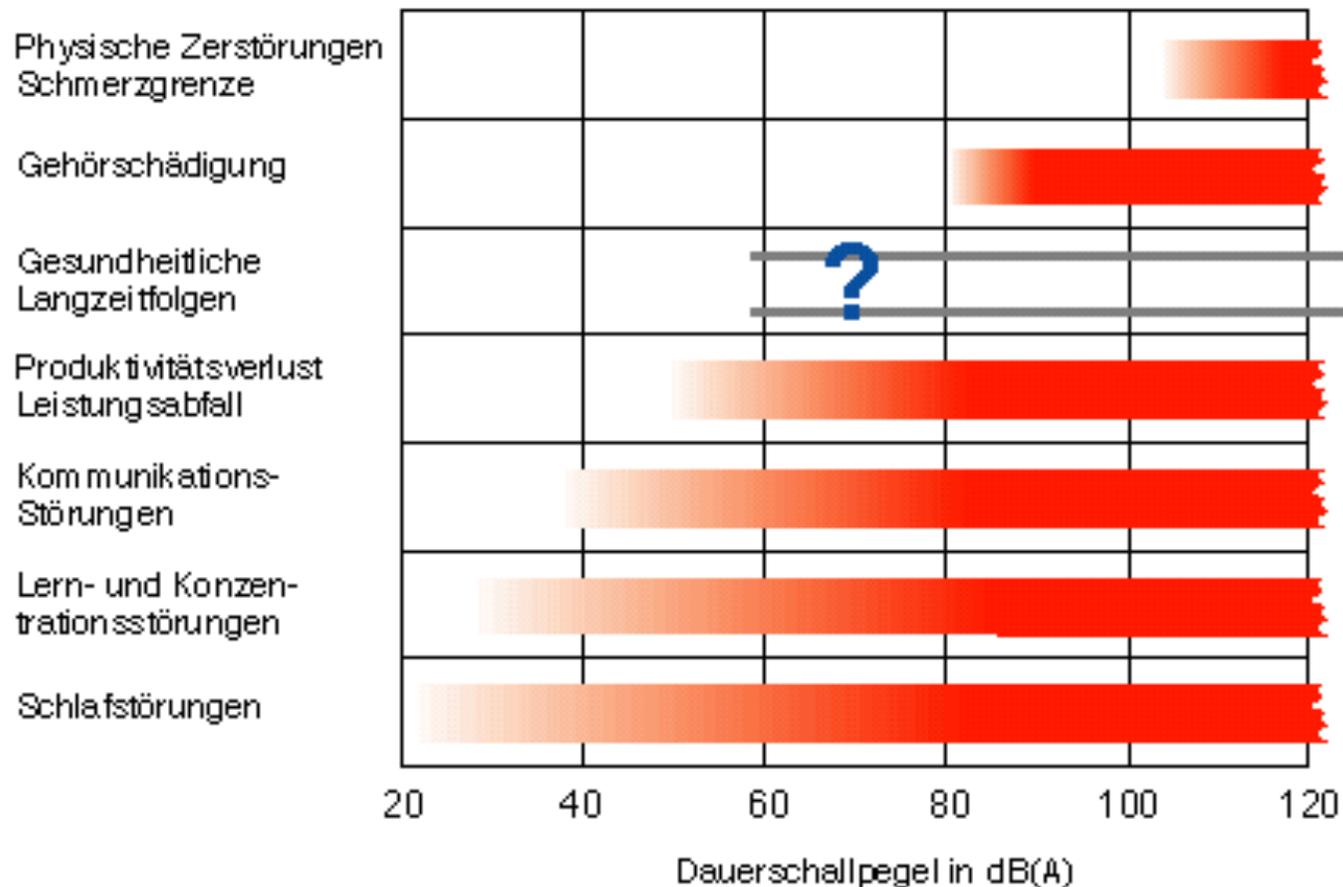
1. **Lärmschwerhörigkeit**
2. **Störung der sprachlichen Kommunikation**, z.B. bei Lehrtätigkeiten, bei Gruppenarbeit oder im Call-Center;
3. **Verminderte Arbeitsleistung** durch Erhöhung der Beanspruchung des Organismus, insbesondere bei Tätigkeiten mit hohen geistigen Anforderungen wie Konzentration, Aufmerksamkeit, Gedächtnis;
4. **Erhöhtes Unfallrisiko** infolge des Überhörens von Signalen und Warnrufen oder infolge von Fehlverhalten durch Ermüdung oder als Schreckreaktion auf andauernde oder unerwartete Geräuscheinwirkung;
5. **Kombinierte Belastung**, zusammen mit Ganzkörperschwingungen, Hitze, Kälte, Zugluft, Gefahrstoffen oder bei Zeitdruck und komplexen Arbeitstätigkeiten. Durch negative Beeinflussung physiologischer und psychischer Regulationsmechanismen, die zu einem erhöhten Stress-Hormonspiegel und zur Verengung der peripheren Blutgefäße führt und die auf Dauer das Risiko für Erkrankungen des Herz-Kreislauf- und des Verdauungssystems erhöhen kann.

Physiologische Wirkung von Lärm

Lärm wirkt auf

- ◆ das autonome Nervensystem, vegetative Regulation;
- ◆ das retikuläre System, Stimmung, Wachheit, Reaktionsverhalten;
- ◆ die subcortikale und die cortikale Wahrnehmung;
- ◆ **das Innenohr.**

Lärmwirkungen sind abhängig vom Schallpegel



Lärmwirkung im Innenohr ist abhängig von

1. Höhe der Schallenergie im Innenohr
 1. Energie der Schallquelle (Emmission)
 2. Entfernung zur Schallquelle
 3. Übertragungsfunktion Außen- und Mittelohr
 1. Frequenzbereich der niedrigsten absoluten Hörschwelle
2. Dauer der Einwirkung (Immission)
3. Frequenzzusammensetzung des Schalls
4. Impulshaltigkeit des Schalls

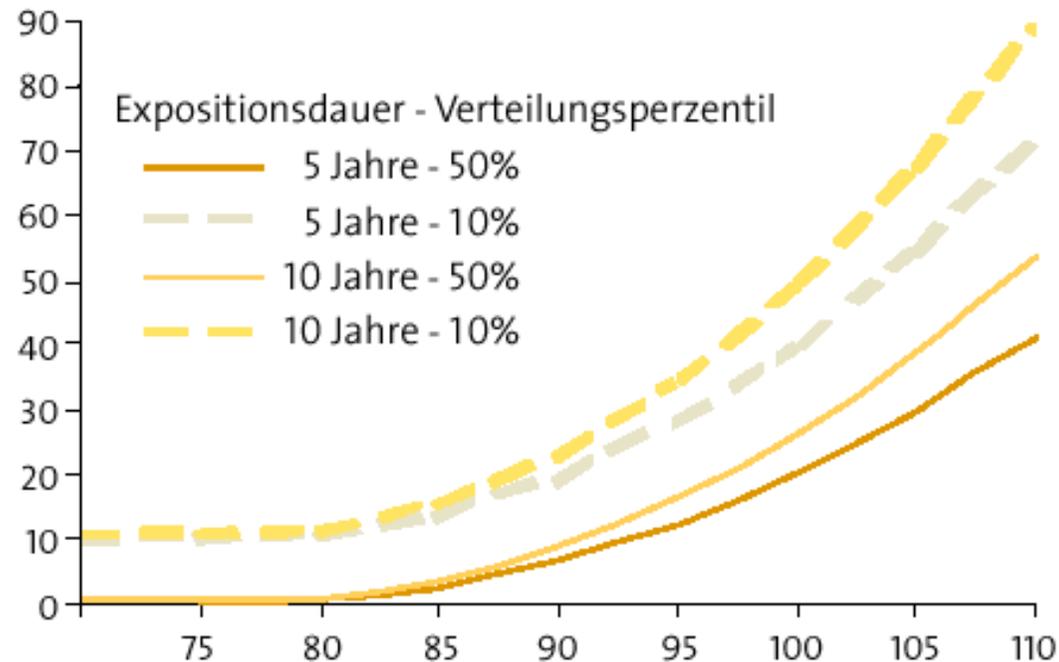
Grundlage der gesetzlichen Regelungen zum Lärmschutz am Arbeitsplatz

- ◆ Ab einem Schallpegel $L_{EX, 8h} = 85 \text{ dB(A)}$ (Expositionsdauer von 8 h täglich), bei 5 Arbeitstagen pro Woche ist bei langjähriger Exposition mit dauerhaftem Hörverlust zu rechnen
- ◆ Grenzwert für einzelne sehr hohe Schallpegel $L_{pC, peak} = 137 \text{ dB(C)}$ ist unabhängig von der Expositionsdauer

Hörverlust durch hohe Schallpegel

Abschätzung des zu erwartenden Hörverlusts nach ISO 1999

Hörverlust bei
3 kHz [dB]
bezogen auf
die Normal-
Hörschwelle

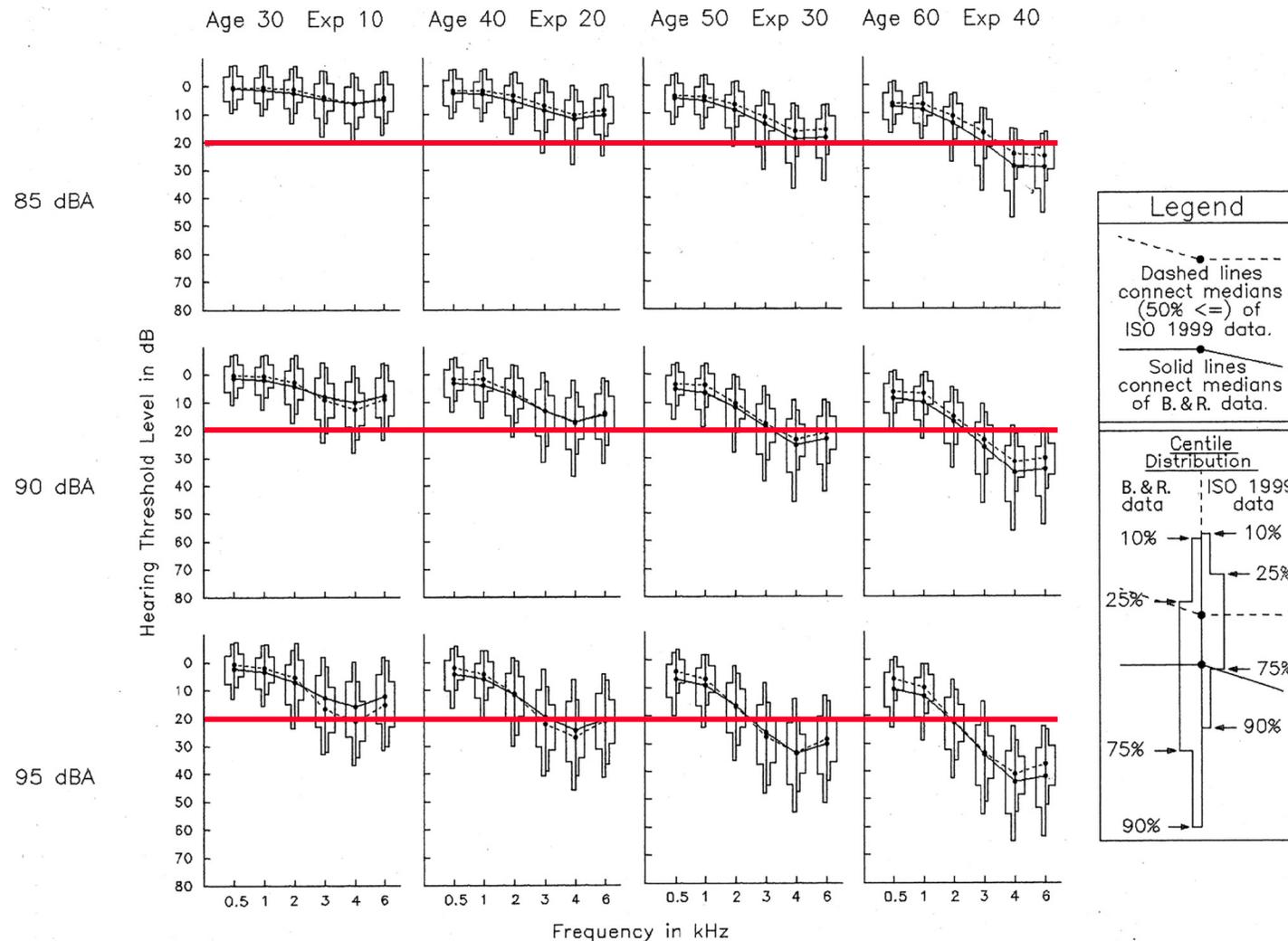


Auf 40 Wochenstunden bezogener äquivalenter
Dauerschallpegel [dB(A)]

Quelle: Ising, H.; Babisch, W.: Hörschädenrisiken durch Freizeitlärm;
Hrsg.: Bundesärztekammer; Köln, Deutscher Ärzteverlag, 2000

Hörverlust durch Schallexposition über eine lange Zeit

nach ISO (2013). ISO 1999, Acoustics—Estimation of Noise-Induced Hearing Loss (International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland).



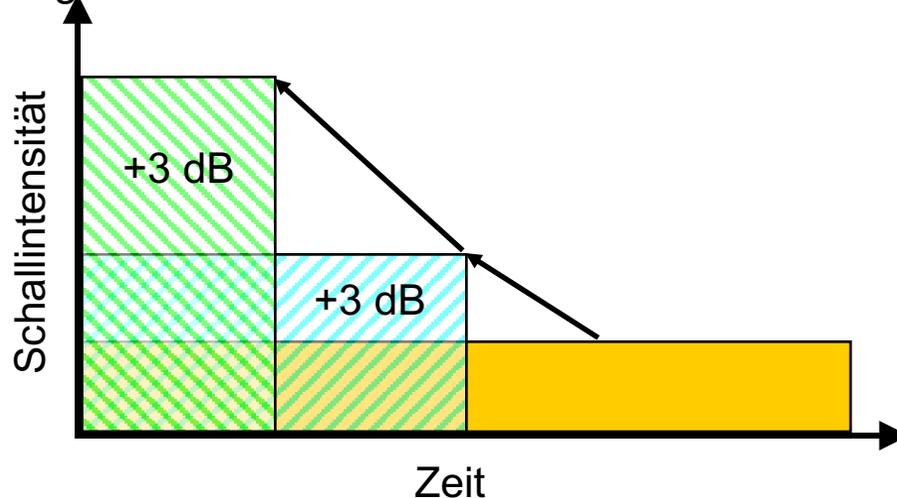
Grundsatz: gleiche Schallenergie, gleiche Wirkung

Grenzwerte: Pegel 85 dBA, Expositionsdauer 8h

Nebenbedingung: 5 x pro Woche, langjährige Exposition

Im Mittel bewirkt gleiche Schallenergie gleiche Schädigung.

Schallenergie \sim Schallintensität x Zeit \sim Schalldruck² x Zeit



Typ. berufsbedingte Lärmexposition:
täglich 8h über 40 Jahre

Maximale sichere
Schallexposition:

85 dB A	8 h
88 dB A	4 h
91 dB A	2 h
94 dB A	1 h
97 dB A	30 min
100 dB A	15 min
103 dB A	7 ½ min
106 dB A	~4 min
109 dB A	~2 min
112 dB A	~1 min
115 dB A	30 sek
118 dB A	15 sek
121 dB A	~7 sek

Aber:

- Individuelle Ohren zeigen unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber Lärmschädigungen.
- Impuls-Schall ist deutlich gefährlicher als ein lang anhaltender Schall gleicher Energie.

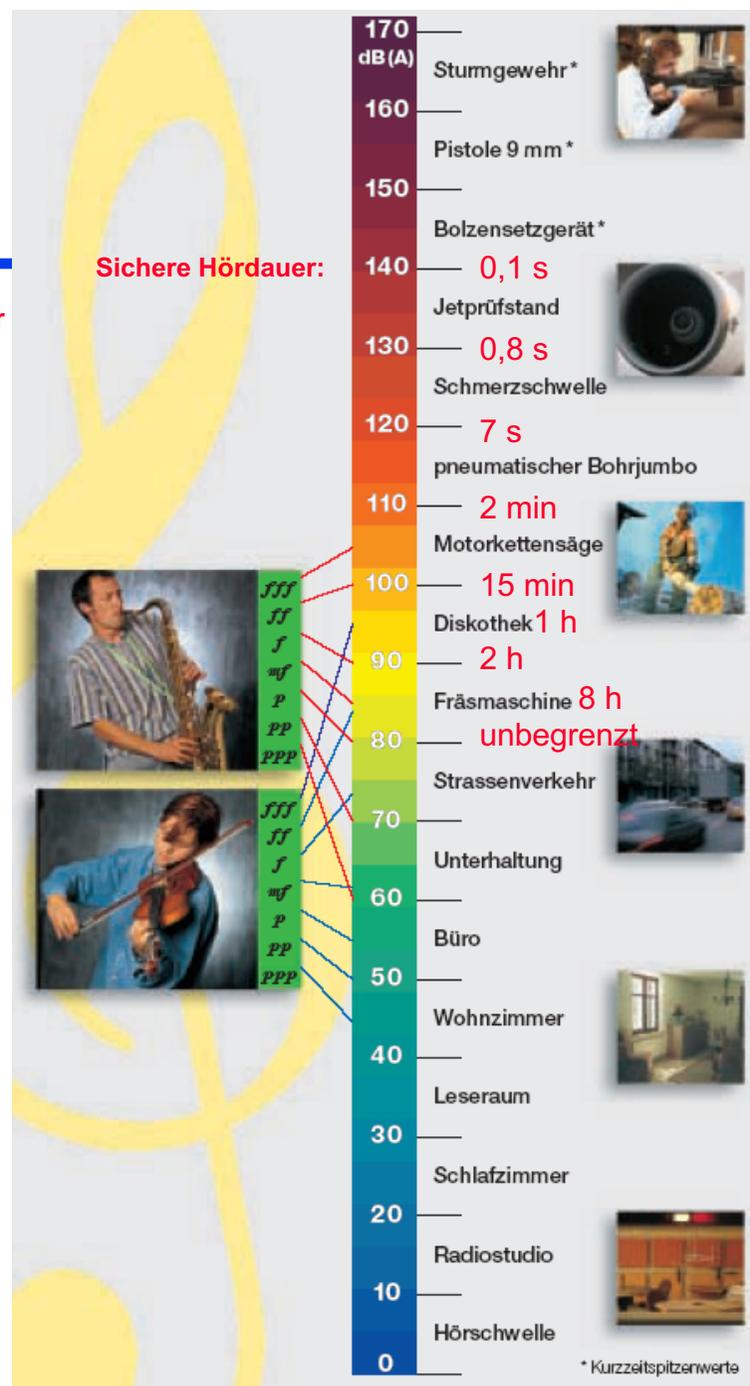
Durchschnittliche Schallpegel & sichere Hördauer zum Schutz vor Innenohrschäden

Situation	Schallpegel	
	Bereich	typisch
Rockkonzert, im Zuhörerbereich	95 - 105	100 dB(A)
Rock- und Jazzmusik im Übungslokal	90 - 105	100 dB(A)
Diskotheek, auf der Tanzfläche	90 - 100	95 dB(A)
Walkman mit Kopfhörer	70 - 110	85 dB(A)
Stereoanlage mit Kopfhörer	70 - 115	95 dB(A)
Stereoanlage mit Lautsprechern	70 - 100	80 dB(A)
Blasmusikprobe im Schulzimmer	90 - 95	90 dB(A)
Musik im Orchestergraben (Oper, Operette)	85 - 100	90 dB(A)
Instrument	Schallpegel typisch	
Klavier, Flügel, Orgel	80 dB(A)	
Cello, Kontrabass	80 dB(A)	
Violine, Viola	86 dB(A)	
Flöten	86 dB(A)	
Keyboards, E-Gitarren	90 dB(A)	
Klarinette, Oboe	90 dB(A)	
Saxofon, Trompete, Posaune	95 dB(A)	
Schlagzeug, Trommel	95 dB(A)	

Sichere Hördauer

15 min
 15 min
 1 h
 8 h
 1 h
 >> 8 h
 2 h
 2 h

 >> 8 h
 >> 8 h
 8 h
 8 h
 2 h
 2 h
 1 h
 1 h



Schallimpulse bei Schießbelastung

Waffe	Messpunkt	Spitzenschall- druckpegel [dB SPL]	Wirkzeit [ms]	kritische Wirkzeit [ms]
G3	Ohr des Schützen	161	0,96	0,72
MG3	Ohr des Schützen	156	4,88	2,3
MP2	Ohr des Schützen	154	0,39	3,6
Handgranate	12 m vom Zerlegepunkt	148	7,2	14
Feldhaubitze	25 m hinter der Waffe	168	9,4	0,14
Panzerhaubitze	23 m hinter der Waffe	166	7,0	0,23
Mörser	Ladeschütze	184	1,6	0,004
Panzer Leo I	10 m seitlich der Mündung	177	5,0	0,018

Pegelüberschreitung trotz Gehörschutz 20 dB

Schalldämpfer für Panzerhaubitze

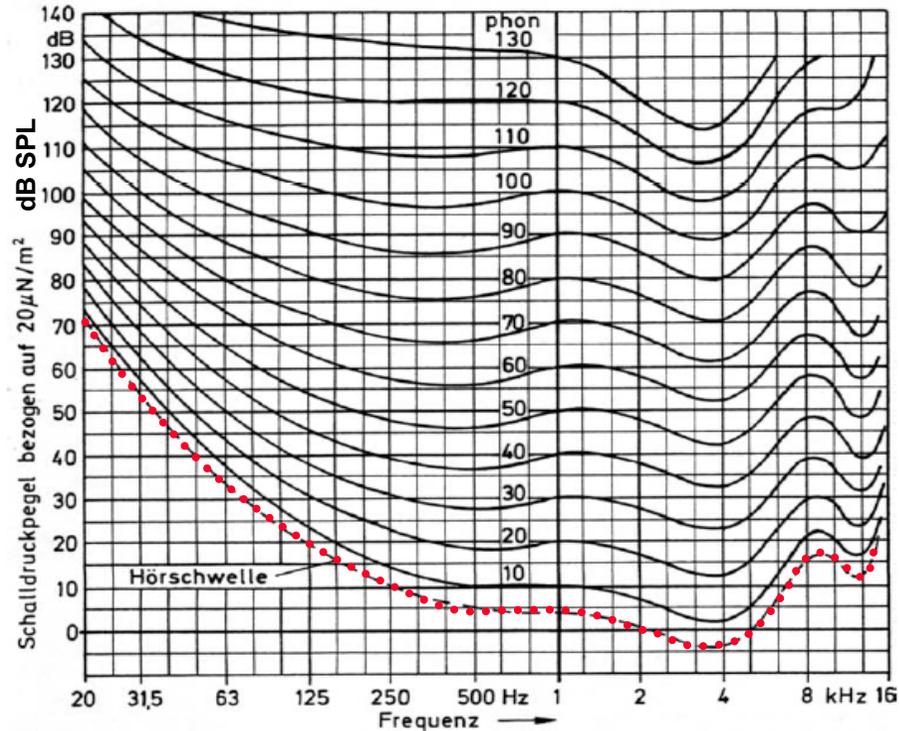


Anatomie & Physiologie: Außenohr - Mittelohr – Innenohr - Hörnerv



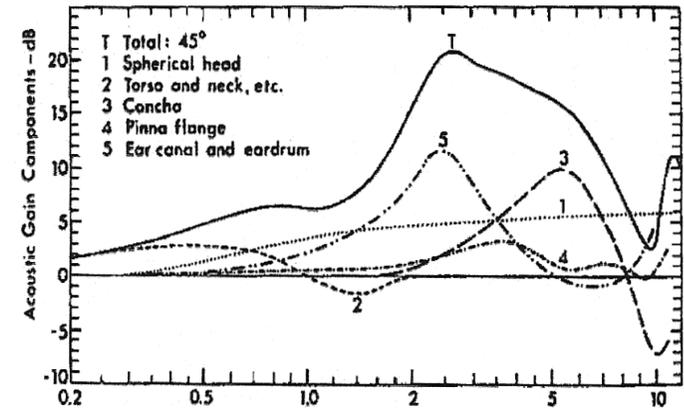
Absolute Hörschwelle (ISO R226, DIN 45630)

Addition der Außen- und Mittelohr-Übertragungsfunktion

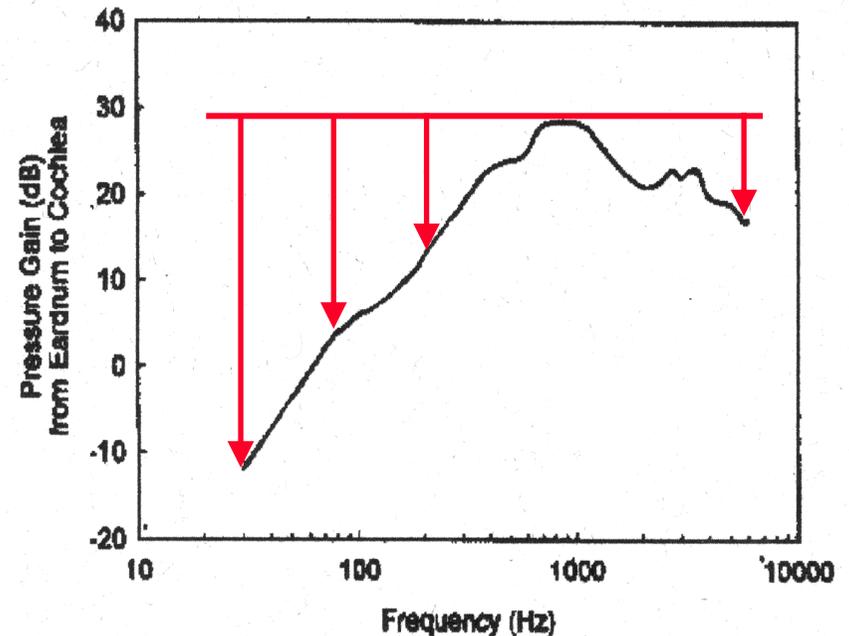


Absolute Hörschwelle [dB SPL]
niedrigste Schwelle bei 3-4 KHz

Außenohr

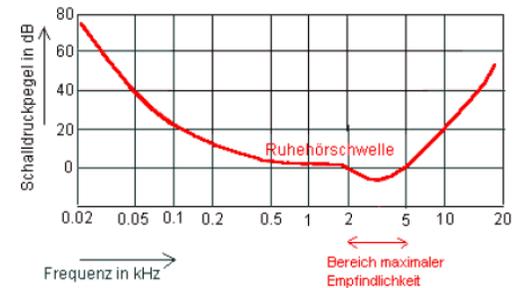


Mittelohr



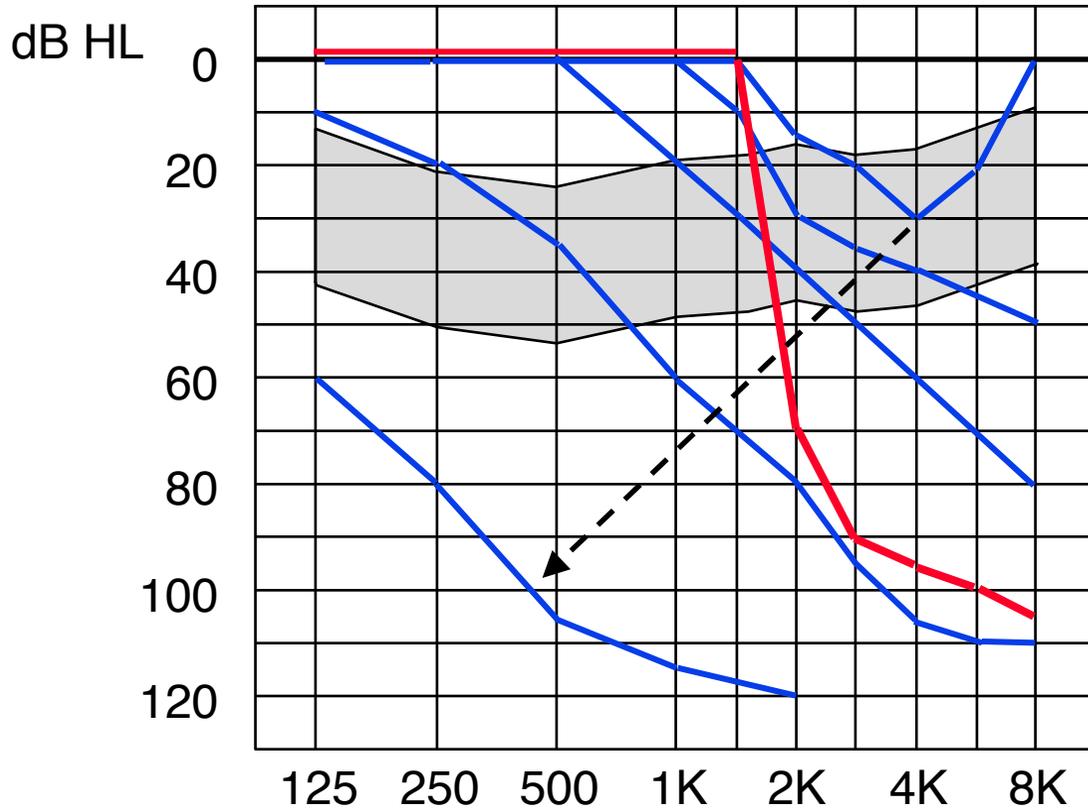
Faktoren zur Ausbildung eines Lärmschadens

- ◆ **Schallpegel**
 - unterhalb von 80-85 dBHL kein Lärmschaden
 - oberhalb 120 dBHL schon nach einmaliger kurzer Einwirkzeit
- ◆ **Dauer der Schalleinwirkung (Expositionsdauer)**
 - je länger Lärm einwirkt, desto eher tritt eine Schädigung ein, bei hohen Frequenzen (1 – 4 kHz) zuerst
- ◆ **Frequenzzusammensetzung**
 - hohe Frequenzen (1 – 4 kHz) besonders wirksam
- ◆ **Impulshaltigkeit**
 - stärkere Schädigung als die Schallpegelprognose annehmen lässt



L [dB A]	> 5 a	> 10 a	> 20 a
80	0%	0%	0%
90	4%	10%	16%
100	12%	29%	42%
110	26%	55%	78%

Lärmschwerhörigkeiten im Tonaudiogramm



Fortschreitende Lärmschwerhörigkeit:
Beginn mit Hochtonsenke bei ca. 4 kHz, bei kontinuierlicher Lärmbelastung fortschreitender Hochtonabfall bis zu einem Tiefton-Restgehör

Knalltrauma:
Hochtonsteilabfall

Krankheitsbilder bei akustischem Trauma

- ◆ Explosionstrauma
 - Sehr hoher Pegel \gg 120 dB HL, sehr kurze Expositionszeit \sim ms
 - Trommelfell - Mittelohr (Druckwelle)
 - Innenohr
- ◆ Knalltrauma
 - Sehr hoher Pegel \gg 120 dB HL, sehr kurze Expositionszeit \sim ms
 - Innenohr
- ◆ Akutes Lärmtrauma
 - Sehr hoher Pegel $>$ 120 dB HL, kurz Expositionszeit $>$ 7 sek
 - Innenohr
- ◆ Chronische Lärmschwerhörigkeit
 - Hoher Pegel $>$ 85 dB HL, lange Expositionszeit $>$ 8 h
 - Innenohr

Lärmschwerhörigkeit

- ◆ TTS: Temporal Threshold Shift
 - Reversible Schädigung, bis zu einem Hörverlust von ca. 50 dB HL
 - » Veränderungen der Basilarmembran-Stützzellen
 - » Zeitweise Entkoppelung der Haarzellen von der Tektorialmembran
 - » Reversible synaptische Schäden

- ◆ PTS: Permanent Threshold Shift
 - Irreversible Schädigung
 - Haarzell- und Nervenuntergang

Lärmschädigung im Innenohr

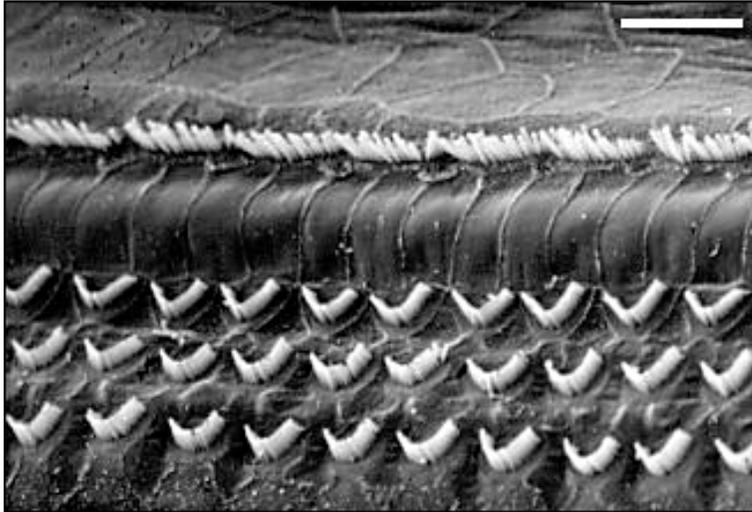
- ★ Direkte mechanische Zerstörung
 1. **Stereocilienzerstörung**
 2. Zelldeformation

- ★ Metabolische Überlastung
 1. Freisetzung freier Radikale
 2. Störung des Ionenhaushalts und der Enzymkonzentration in den Haarzellen
 3. Störung der Stria vascularis und des Ionenhaushalts der Endolymphe
 4. **Excitotoxizität durch überhohe Transmitterkonzentration**

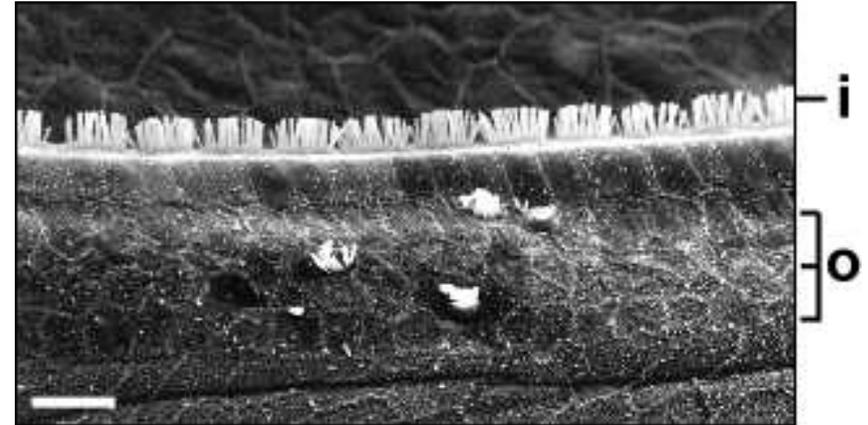
Konsequenz: Apoptose / Nekrose

1. Haarzellverlust
2. Verlust an Nervenfasern im Ganglion spirale

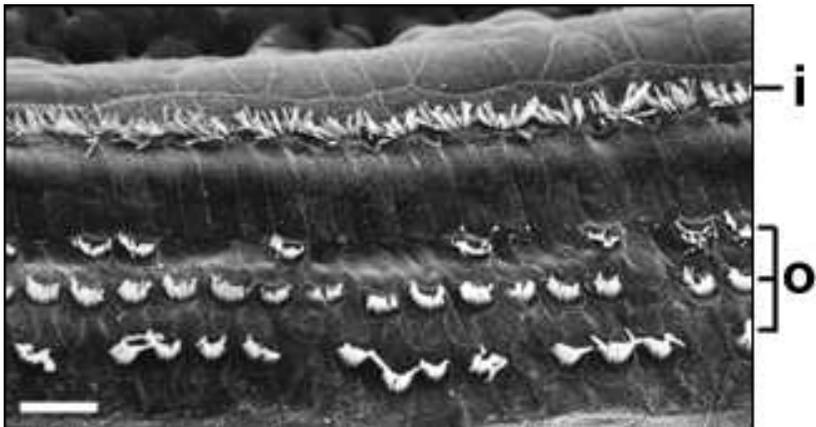
Chronisches Lärmtrauma: Haarzellverlust



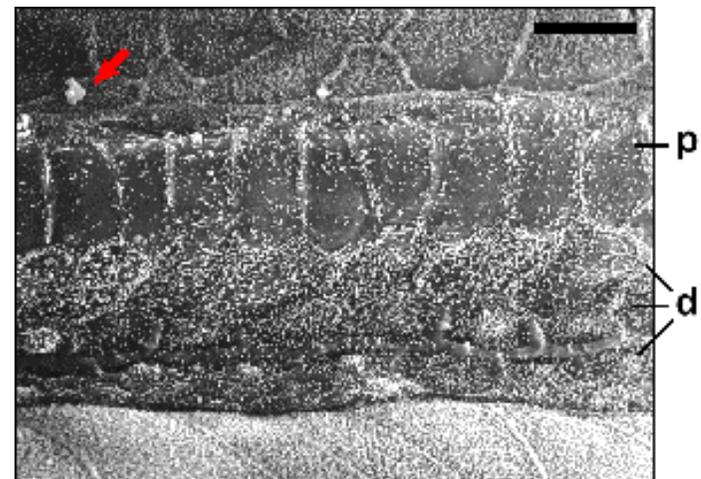
gesundes Innenohr



fortgeschrittener Haarzellverlust



moderater Haarzellverlust



totaler Haarzellverlust

Schwellung der Stria vascularis

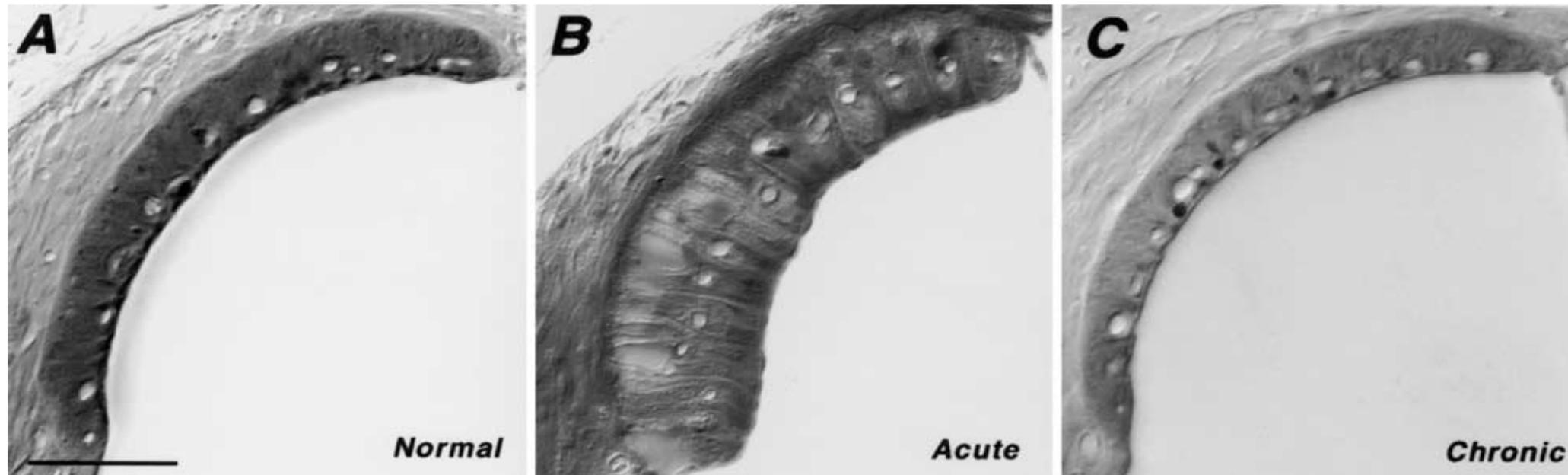
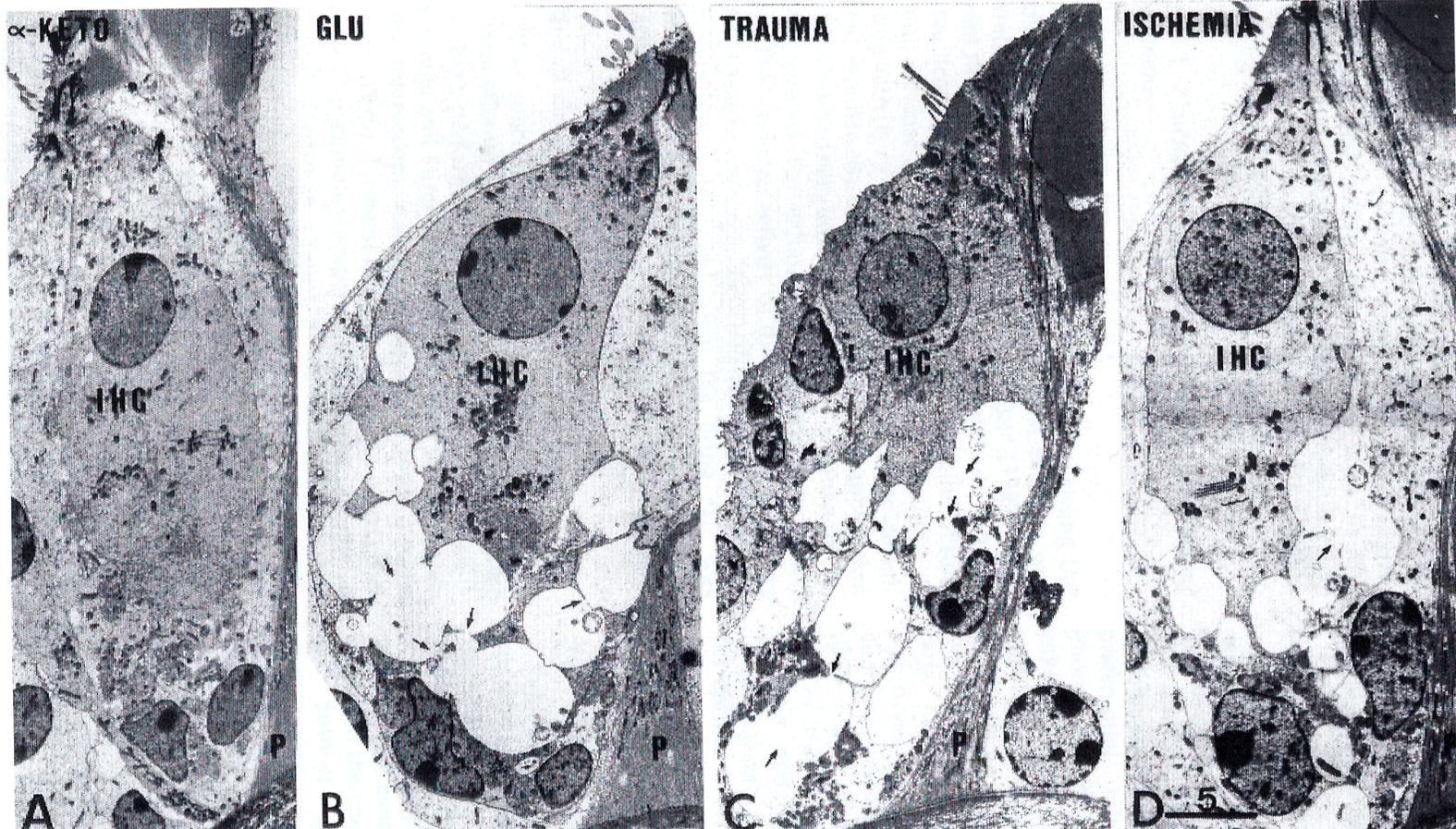


FIG. 10. Twenty-four hours after noise exposure, the stria is greatly swollen (**B**), whereas 2 weeks after the exposure, the diameter is slightly reduced (**C**). **B** and **C** are from the midbasal region of two cases exposed to the 116 dB noise band. **A** is from the same cochlear region of a control ear. Scale bar in **A** (50 μm) applies to all panels.

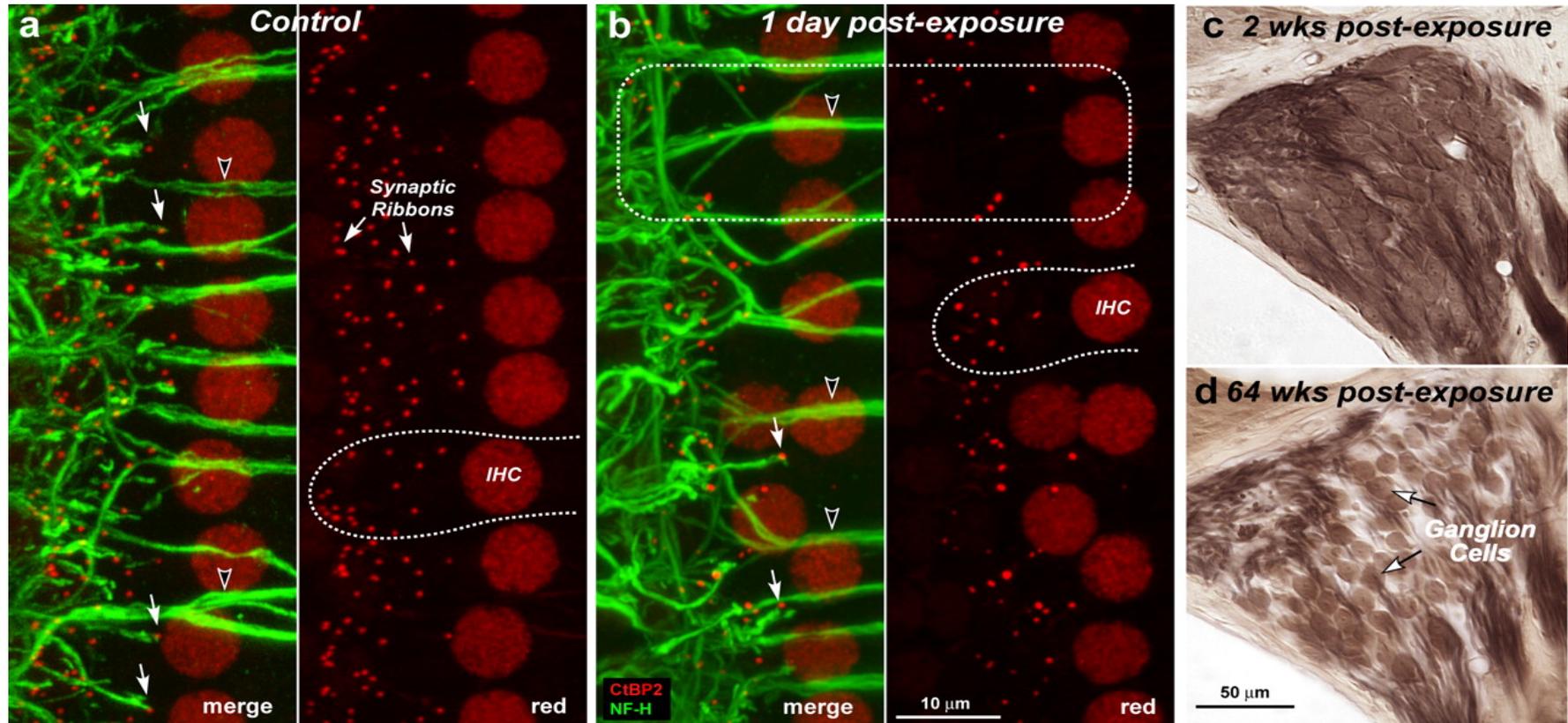
Wang Y, Hirose K, Liberman MC(2002) Dynamics of noise-induced cellular injury and repair in the mouse cochlea. *J Assoc Res Otolaryngol* 3:248–268.

TTS durch Excitotoxizität

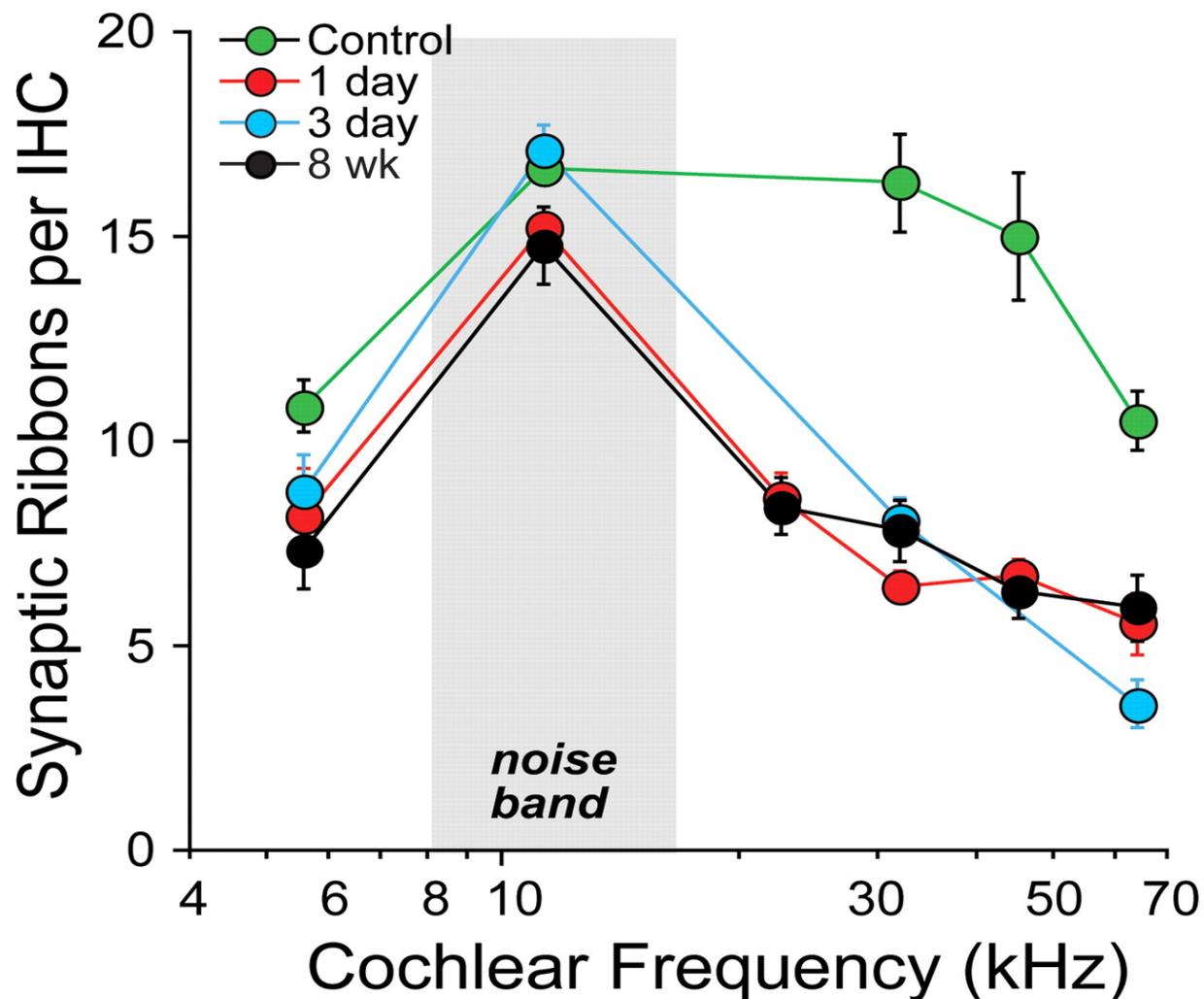
Zellschädigung durch toxische Transmitter-Konzentration bei hoher Schallbelastung.



a–d , Despite reversibility of threshold shift and intact sensory cells, noise-exposed ears show rapid loss of cochlear synaptic terminals (a , b) and delayed loss of cochlear ganglion cells (c , d).



Synaptic ribbon counts in six cochlear regions of control and noise-exposed ears show synaptic loss throughout the basal half of the cochlea.



Protektion

- ◆ Lärm vermeiden
 - Emission verringern, Schalldämmung
 - Immission verringern, Gehörschutz
 - Ruhephasen zur Erholung
- ◆ Radikalfänger
 - systematisch
 - lokal, Diffusion durch rundes Fenster
- ◆ Apoptose blockieren (Laborstadium)
- ◆ genetische Disposition erkennen (unausgereift)

Therapie

- ◆ akute Lärmschädigung
 - Durchblutungsförderung
 - antiödematöse Therapie (Prednison / Prednisolon)
 - Antioxidans (α -Liponsäure)
 - Membranstabilisierung (Magnesium)
 - Ruhe, Entspannung

- ◆ chronische Lärmschädigung
 - mit ausreichender Sprachverständlichkeit nur indirekt mit Hörgeräten

 - ohne ausreichende Sprachverständlichkeit nur indirekt mit Cochlear Implantaten

