

Lärm, Gehörschäden und Schutzmaßnahmen

Bachelorarbeit

durchgeführt von

António Maria Hölzl

Institut für Breitbandkommunikation
der Technischen Universität Graz

Leiter: Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Kubin

Begutachter/Betreuer: Ao.Univ-Prof. DI. Dr. Gerhard Graber

Graz, im Januar 2010

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 22 Januar 2011

.....
António Maria Höhl
(Unterschrift)

Zusammenfassung

In der vorliegenden Bachelorarbeit wird ein Überblick über das Thema Lärm, die dadurch entstehenden Hörschäden und deren Vermeidung geboten. Es werden physikalische und psychoakustische Größen erläutert, die den Begriff „Lärm“ beschreiben und mathematische Definitionen vorgestellt, die zur objektiven Grenzwertberechnung der zulässigen Lärmbelastung für den Menschen herangezogen werden und eine Bewertung erlauben. Neben den neuronalen und den organischen Reaktionen auf Lärmimmissionen, werden die lärminduzierte Hörschäden beschrieben. Außerdem werden häufig auftretende Hörschäden, die nicht auf äußeren Schalleinfluss zurückzuführen sind, aufgelistet und Ursachen, Entstehungsort, sowie betroffene Personengruppen näher beleuchtet. Abschließend werden Schutzmaßnahmen vorgestellt, die den menschlichen Körper vor Hörschäden bewahren sollen. In diesem Zusammenhang wird die aktuelle rechtliche Lage, basierend auf Normen und Richtlinien, in Österreich und Europa zum Schutz vor Hörschäden während der Arbeit, dem Musizieren und den Freizeitbeschäftigungen untersucht. Zudem werden Gehörschutzeinrichtungen präsentiert, mit deren Hilfe ein lärmbedingter Hörschaden vermieden werden kann, wobei die relevanten Kennwerte und verschiedene Bauarten und Modelle von Gehörschützern erläutert werden. Im Besonderen werden die Anforderungen von Arbeitern, Musikern und Privatpersonen an den Gehörschutz zusammengetragen und die dafür passenden Modelle vorgestellt.

Abstract

This bachelor thesis supplies with a survey on noise, resulting hearing impairments and the avoidance of such. Hereby physical and psycho-acoustic variables are explained, which describe the term 'noise', and mathematical definitions are introduced, used to calculate the objective limit value of acceptable noise exposure to individuals, thus allowing evaluation. Apart from neuronal and physical reactions to noise immissions, noise-induced hearing impairments are described. Further, this thesis includes a list of widespread hearing impairments, which result not from external sound events, including cause, etiology, as well as, groups prone to be affected by. Concluding, precautionary measures are presented, which ought to protect the human body of hearing impairments. In this context recent legislations are investigated, based on Austrian and European standards and policies, which guarantee protection from hearing impairments in work environments, while playing musical instruments or rehearsing, and recreational activities. Moreover, hearing protection measures are presented, which prevent noise-induced hearing impairment, while explaining relevant parameters and specific designs of hearing protection. With special attention, this thesis gathers requirements to hearing protection for workers, musicians and individuals, and introduces appropriate models for each group.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 8 |
| 2 | Lärm | 11 |
| 2.1 | Was ist Lärm? | 11 |
| 2.2 | Einfluss von Lärm auf den Körper | 15 |
| 3 | Hörschäden | 19 |
| 3.1 | Schallleitungsschwerhörigkeit | 20 |
| 3.1.1 | Blockierung des Gehörgangs..... | 20 |
| 3.1.2 | Exostose und Osteom im Außen- und Mittelohr..... | 21 |
| 3.1.3 | Trommelfellperforation | 22 |
| 3.1.4 | Ohrenentzündungen..... | 24 |
| 3.1.5 | Otosklerose | 26 |
| 3.2 | Schallempfindungsschwerhörigkeit | 29 |
| 3.2.1 | Morbus Menière | 29 |
| 3.2.2 | Hörsturz | 32 |
| 3.2.3 | Lärmbedingter Hörverlust | 33 |
| 3.2.4 | Ototoxizität | 38 |
| 3.2.5 | Akustikusneurinom | 40 |
| 3.2.6 | Presbyakusis (Altersschwerhörigkeit)..... | 41 |
| 3.3 | Tinnitus | 44 |
| 4 | Schutzmaßnahmen | 47 |
| 4.1 | Gesetzliche Maßnahmen und Empfehlungen..... | 47 |
| 4.1.1 | Gesetzliche Maßnahmen und Empfehlungen bei Arbeitslärm | 47 |
| 4.1.2 | Gesetzliche Maßnahmen und Empfehlungen bei Freizeitlärm | 50 |
| 4.1.3 | Gesetzliche Maßnahmen und Empfehlungen bei Umgebungslärm | 54 |
| 4.2 | Gehörschutz..... | 58 |
| 4.2.1 | Kennwerte des Gehörschutzes..... | 58 |
| 4.2.2 | Passiver Gehörschutz | 61 |
| 4.2.3 | Aktiver Gehörschutz / Active Noise Reduction (ANR)..... | 67 |
| 4.2.4 | Gehörschutz für Arbeiter | 68 |
| 4.2.5 | Gehörschutz für Musikberufe..... | 74 |
| 4.2.6 | Gehörschutz für Freizeitaktivitäten | 78 |
| 5 | Zusammenfassung und Ausblick | 80 |
| 6 | Literaturverzeichnis | 82 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 2.1: Auslöseschwellen für Schallwirkungen [KÖCKEMANN, S. 12] | 15 |
| Abbildung 3.1: Das menschliche Ohr [TINNITUSZENTRUM]..... | 19 |
| Abbildung 3.2: Audiogramm eines Schallleitungshörschadens [SIEMENS]..... | 20 |
| Abbildung 3.3: Verengung des äußeren Gehörgangs durch eine Gehörgangsexostose [MLYNSKI, S. 410]..... | 21 |
| Abbildung 3.4: Gemittelte Hörkurve verschiedener Patienten mit Trommelfellruptur [SPREM, S. 644]..... | 23 |
| Abbildung 3.5: Mittelohr mit Verknöcherung am ovalen Fenster (Otosklerose) [WIKIPEDIA3]..... | 27 |
| Abbildung 3.6: Audiogramm einer an Otosklerose erkrankten Patientin (Luftleitung 0, Knochenleitung <) [WIKIPEDIA4]..... | 28 |
| Abbildung 3.7: Audiogramm eines Menière-Patienten im 2. Stadium mit Hörminderung zwischen 40-70 dB (Luftleitung X, Knochenleitung <)..... | 30 |
| Abbildung 3.8: Audiogramm desselben Menière-Patienten mit ausgebranntem Menière. Der Hörverlust liegt zwischen 50 und 100 dB (Luftleitung X, Knochenleitung <)..... | 30 |
| Abbildung 3.9: schematischer Aufbau der Hörschnecke [WIKIPEDIA5] | 31 |
| Abbildung 3.10: Audiogramm eines beidseitigen lärmbedingten Hörschadens: typische Senke bei 3-6 kHz [RUTKA, S. 18] | 34 |
| Abbildung 3.11: mikroskopische Aufnahme von Haarzellen: unbeschädigt (links) und beschädigt (rechts) [ENTUK] | 35 |
| Abbildung 3.12: Audiogramm eines Patienten nach Verabreichung von Salicylate (rot). Regenerierung der Höreigenschaften binnen 2 (grün) bzw. 5 Tage (schwarz) [WECKER, S. 347] | 39 |
| Abbildung 3.13: Audiogramm eines beidseitigen, altersbedingten Hörschadens [RUTKA, S. 19]..... | 42 |
| Abbildung 3.14: Unterteilung des subjektiven Tinnitus nach seinem Entstehungsort [ZENNER2, S. 701] | 45 |
| Abbildung 4.1: Kapselgehörschutz der Firma E·A·R [®] : Muff 4000 [EAR1]..... | 62 |
| Abbildung 4.2: Frequenzgang vier verschiedener Kapselgehörschützer mit unterschiedlichem Volumina und Dichtungskissen [BERGER1, S. 1]..... | 62 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 4.3: Formbare Gehörschutzstöpsel aus Schaumstoff der Firma E·A·R®: E·A·Rsoft™ SuperFit™ [EAR2]..... | 64 |
| Abbildung 4.4: Frequenzgang fünf verschiedener Gehörstöpsel: Einfluss des verwendeten Materials und der Anwendung [BERGER1, S. 1] | 64 |
| Abbildung 4.5: Vorgefertigte Gehörschutzstöpsel der Firma E·A·R®: UltraFit® [EAR3]..... | 65 |
| Abbildung 4.6: Otoplastik der Firma Neuroth: Soundsaver® PRO [NEUROTH1]..... | 66 |
| Abbildung 4.7: Frequenzgang des Soundsaver® PRO mit verschiedenen akustischen Filter [NEUROTH1] | 66 |
| Abbildung 4.8: Aktiver Kapselgehörschutz der Firma PELTOR®: ProTac [PELTOR]..... | 67 |
| Abbildung 4.9: Frequenzgangverlauf eines passiven Kapselgehörschutzes („conventional earmuff“, blau) gegenüber einem aktiven Kapselgehörschutz (grün und rosa) [BERGER2, S. 3] | 67 |
| Abbildung 4.10: Gegenüberstellung des L_{Aeq} mit Gehörschutz bei 100% Tragedauer (nach 8 Stunden 80 dB) und bei 97% (nach 8 Stunden 90,4 dB) [LIEDTKE, S. 50]..... | 69 |
| Abbildung 4.11: Frequenzgang verschiedener Gehörschützer: links: Gehörschützer jeweils einzeln und in Kombination, zusätzlich geschätzter Knochenleitungsfrequenzgang (BC) rechts: verschiedene Gehörschutzstöpsel kombiniert mit einem Kapselgehörschutz..... | 70 |
| Abbildung 4.12: vorgefertigter Gehörschutzstöpsel mit speziellem Filter für Musikberufe [PATEL, S. 8]..... | 75 |
| Abbildung 4.13: angepasster Gehörschutzstöpsel mit Filtertechnik der Firma „Etymotic RESEARCH, INC.“ [PATEL, S. 6] | 76 |
| Abbildung 4.14: Vergleich der Übertragungsfunktion des offenen Ohrs mit der eines Gehörschutzstöpsels mit dem Filter ER-15 der Firma „Etymotic RESEARCH, INC.“ [KILLION2, S. 427]..... | 76 |
| Abbildung 4.15: Gegenüberstellung verschiedener Dämpfungscharakteristiken [PATEL, S. 9]: rot: angepasster belüftete Gehörschutzstöpsel rosa: vorgeformter Gehörschutzstöpsel für Musiker gelb: angepasster Gehörschutzstöpsel für Musiker blau: herkömmlicher Gehörschutzstöpsel | 77 |
| Abbildung 4.16: InEar-Hörer mit 2 wechselbaren Dämpfungsfiler (12 und 26 dB) der Firma „Ultimate Ears“ angepasst an das Gehör..... | 78 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 4.1: Geräusentwicklung bei Spielzeug in dB(A); Messergebnis an (zufällig) ausgewählten deutschen Spielwaren (Quelle: Europäisches Gremium CEN/TC5L: „Sicherheit von Spielzeugen“)[ZENNER1, S. 239]..... | 52 |
| Tabelle 4.2: Geräusentwicklung bei Spielzeug in dB(A); Messergebnis an (zufällig) ausgewählten deutschen Spielwaren (Quelle: Europäisches Gremium CEN/TC5L: „Sicherheit von Spielzeugen“, zitiert nach [ZENNER1, S. 239])..... | 53 |
| Tabelle 4.3: Übersicht der verschiedenen Kategorien von Knallkörpern und deren Sicherheitsanforderungen in Österreich | 53 |
| Tabelle 4.4: Immissionsgrenzwerte nach ÖNORM S 5021-1 [LECHNER1, S. 14] | 55 |

1 Einleitung

„Was ist Lärm? Was sind die negativen Folgen für meinen Körper? Wie schütze ich mich davor?“, sind Fragen, die sich die Menschen seit mindestens 200 Jahren stellen. Von Beginn des 19. Jahrhunderts an, das geprägt ist von Industrialisierung und steigender Mobilität durch neuartige Technik, gibt es erste Berichte und Beschwerden über die Geräuschbelastung in den stark anwachsenden Metropolen Europas. Das steigende Verkehrsaufkommen durch die Entwicklung des Automobils und elektrischer Straßenbahnen sowie die hohe Bevölkerungsdichte ließen die Städte nicht mehr zur Ruhe kommen. Schon bald wurden auch die negativen Auswirkungen einer ständigen Schallbelastung auf den menschlichen Körper festgestellt. Insbesondere die Intellektuellen jener Epoche beklagten den Pegelzuwachs, der sie von ihrer geistigen Arbeit abhielt. Daher gründeten sie gegen Ende des Jahrhunderts Bewegungen, die sich dem Kampf gegen den Lärm widmeten. Dies fand jedoch wenig Anklang unter der Arbeiterschicht. Das verwundert umso mehr, da gerade diese Bevölkerungsschicht stark von der Industrialisierung betroffen und dem stärksten Schallpegelzuwachs ausgeliefert war. Denn während „Antilärm“-Bewegungen gegen den Straßen- und Nachbarschaftslärm kämpften, waren Industriearbeiter aus zahlreichen Branchen dem sehr viel stärkeren Arbeitslärm ausgesetzt, der nicht nur eine Belästigung, sondern eine Gefahr für das Hörvermögen darstellt.

Es zeigt sich, dass die unterschiedlichen Hörgewohnheiten dazu führen, Geräusche unterschiedlich zu bewerten und es schwierig machen, die Frage, was Lärm ist, eindeutig zu beantworten. Die Toleranz der Arbeiterschaft schien Geräuschen gegenüber sehr hoch zu liegen, was wohl an der positiven Konnotation zu Industrielärm in der damaligen Zeit lag, da dieser den Fortschritt und die Entwicklung symbolisierte [PAYER].

Die schlechten Arbeitsbedingungen und die damit verbundenen Krankheitsausfälle jener Zeit bewirkten die Formulierung von Arbeitsschutzgesetzen in Europa, die zunächst nur die Kinderarbeit und die Arbeitszeiten regelten. Obwohl der Zusammenhang zwischen lauten Geräuschen und einem Hörverlust bereits Mitte des 19. Jahrhunderts erkannt war, wurde erst in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts der Lärm als eine Gefahrenquelle angesehen und die Lärmschwerhörigkeit als Berufskrankheit akzeptiert. In Deutschland beispielsweise wurde diese Berufskrankheit zunächst nur im metallverarbeitenden Gewerbe anerkannt, da dort die Korrelation zwischen Lärm und Hörschäden deutlich erkennbar war. Um 1960 wurde dieser Zusammenhang auf alle Betriebe und Tätigkeiten ausgeweitet.

Heutzutage zählt die Lärmschwerhörigkeit immer noch zu den häufigsten Berufskrankheiten, obwohl die Arbeitsschutzbestimmungen für die Arbeitnehmer sehr viel besser geworden sind und einen Hörschaden theoretisch ausschließen. Ein wichtiger Schritt zur Bekämpfung des Lärms war die Entwicklung von Messgeräten zu Beginn des 20. Jahrhunderts, mit deren Hilfe eine objektive Evaluierung des Schallpegels möglich wurde und die dazu führten, dass Grenzwerte festgelegt wurden, die es zu unterschreiten galt. Diese Grenzwerte wurden im Laufe der Jahre aufgrund der gesammelten Erfahrungswerte und neuer medizinischer Er-

kenntnisse verschärft, weshalb die Lärmbelastung heute für Arbeitnehmer in Betrieben weit- aus geringer ist als im vorigen Jahrhundert.

Zusätzlich zur Schallpegelsenkung kam der arbeitenden Bevölkerung die Erfindung von Ge- hörschützern zugute, die besonders durch die Entwicklung des „Ohropax“ 1907 einen hohen Verbreitungsgrad bekamen. Ohne einen Hörschaden erleiden zu müssen, wurde es so möglich an Maschinen zu arbeiten, deren Pegel man nicht absenken konnte. Die Weiterentwicklung der Schutzeinrichtungen ermöglicht es uns heute unversehrt Pegelwerten ausgesetzt zu sein, die ohne Schutz einen sofortigen Hörschaden bewirken würden. Entscheidend ist die richtige Wahl der Schutzeinrichtung, die je nach Lärmsituation unterschiedlich ausfallen kann.

Der bereits von den Intellektuellen des 19. Jahrhunderts beklagte Straßenlärm, im heutigen Sprachgebrauch als Umgebungslärm bezeichnet, hat sich im Verlauf der Jahre stark geändert. Der Ausbau der Infrastruktur und die hohen Verkaufszahlen der Automobilindustrie seit dem Ende des Zweiten Weltkriegs ließen die Lärmbelastung auf der Straße deutlich ansteigen, vermehrt um den explosionsartig gewachsenen Flugverkehr. Um der Lärmbelastung aus dem deutlich höheren Verkehrsaufkommen entgegenzuwirken, wurden Pegelgrenzwerte gesetzlich festgelegt, denen die Bevölkerung an ihrem Aufenthaltsort maximal ausgesetzt sein darf. Er- findungen wie beispielsweise der Flüsterasphalt, schallärmere Schienenfahrzeuge und Flug- zeuge haben die Schallemissionen trotz des immensen Verkehrszuwachses in Grenzen halten können. Seitdem aber Studien den Zusammenhang zwischen dem Verkehrslärm und neurona- len bzw. organischen Körperreaktionen mit zum Teil tödlichen Folgen bestätigt haben, gilt es zu klären, inwieweit die bestehenden Gesetze zum Schutz der Bevölkerung genügen.

Besonders beunruhigend ist die Situation im Freizeitlärm. Trotz der Maßnahmen, den Lärm- pegel im Alltag insgesamt abzusenken, ist besonders bei den Jugendlichen seit den 80er Jah- ren ein erschreckender Zuwachs an Hörschäden festzustellen. Dies liegt nicht mehr am Ar- beits- oder Umgebungslärm, sondern ist auf den Freizeitlärm zurückzuführen, dem sich die jungen Erwachsenen selber aussetzen. Zum Einen ist der Besuch von Diskotheken und Mu- sikveranstaltungen rapide angestiegen, zum Anderen sind, spätestens seit der Erfindung der MP3-Player, auch die tragbaren Abspielgeräte sehr in Mode gekommen. Extreme Pegel in Diskotheken und Konzerten sowie leistungsstarke Abspielgeräte für den Hausgebrauch sind maßgeblich für die Hörschäden verantwortlich. In Österreich sowie in vielen anderen Mit- gliedsstaaten der EU gibt es nur unzureichende gesetzliche Reglementierungen, was den Frei- zeitlärm betrifft. Es gibt daher Befürchtungen, dass die Zahl der Hörschäden unter Jugendli- chen weiter zunehmen wird.

Die große Zahl an Hörschäden unter jungen Erwachsenen und die immer noch hohe Zahl an arbeitsbedingter Lärmschwerhörigkeit machen es notwendig, das Thema „Lärm“ und seine Folgen für den menschlichen Körper zu diskutieren und zu vermitteln. Das menschliche Ge- hör ist eine der essentiellen Funktionen, um untereinander kommunizieren zu können und somit soziale Strukturen aufbauen und aufrecht erhalten zu können. Nur ein verantwortungs- bewusster Umgang mit dem eigenen Gehör schützt dieses vor Schäden, weshalb ein Hörscha- den, sei er lärmbedingt oder krankheitsbedingt, so schnell wie möglich erkannt und behandelt werden sollte. Dazu gehört auch die Verwendung von Gehörschutz in Situationen, in denen der Lärmpegel für das Gehör schädlich sein kann.

In dieser Arbeit wird deshalb versucht, aufbauend auf einer Definition von Lärm dessen Aus- wirkungen auf den Körper zu erläutern, wobei verschiedene lärm- bzw. krankheitsbedingte Gehörschäden beschrieben und erklärt werden. Es wird die aktuelle rechtliche Lage in Öster-

reich und Europa zum Lärmschutz dargelegt und es werden die verschiedenen Gehörschutzmöglichkeiten, die einem Schaden vorbeugen, vorgestellt.

2 Lärm

2.1 Was ist Lärm?

Lärm kann definiert werden als ein unangenehmes Geräusch, das den Menschen stört, beeinträchtigt und auch gesundheitliche Schäden verursachen kann. Ein Geräusch wird dann zu Lärm, wenn es bestimmte Charakteristiken erfüllt. Großen Einfluss hat die Lautstärke eines Signals, die Dauer, der man diesem ausgesetzt ist, die Geräuschqualität und die Lästigkeit, die beim Hörer hervorgerufen wird. Diesen Charakteristiken werden zur objektiven Bewertung physikalische Größen oder eindeutige Attribute zugeteilt. Das Zusammenspielen all dieser Faktoren muss herangezogen werden, um ein Hörereignis zu bewerten und gegebenenfalls als „Lärm“ bezeichnen zu können.

Die Lautstärke eines Schallereignisses ist entscheidend für die Bewertung desselben. Versuche haben ergeben, dass sehr laute Geräusche schnell als Lärm definiert werden, leise hingegen seltener als störend empfunden werden. Schwierigkeiten bereitet jedoch die frequenzabhängige Lautstärkeempfindung unseres Gehörs, weshalb die physikalische Größe „Schallintensitätspegel“ nicht direkt für die Bewertung herangezogen werden kann. Durch die psychoakustische Größe „Lautheit“ wird die frequenzabhängige Empfindung berücksichtigt und in der Einheit „sone“ angegeben. Um die Beurteilung eines Geräusches zu vereinfachen und vergleichbare Messungen mit geringem Aufwand zu ermöglichen, wird in der Praxis jedoch der sogenannte A-bewertete Schalldruckpegel herangezogen und nicht die Lautheit. Dabei wird der gemessene Schalldruck mit der Kurve gleicher Lautstärkepegel von 40 phon gewichtet¹, was der Lautheit von 1 sone entspricht. Für sehr laute Geräusche wird statt der A-Bewertung die C-Bewertung verwendet, die die 80 phon-Kurve als Gewichtung verwendet. Zu beachten ist, dass die Lautstärkeempfindung nicht nur von dem Schalldruckpegel und der Frequenzzusammensetzung, sondern auch von der zeitlichen Abfolgen beeinflusst wird. Nur wenn es sich um den Vergleich von zwei Signalen handelt, dessen Frequenzen und zeitlicher Verlauf identische sind, kann ausschließlich auf den Pegelwert zur Lautstärkeeinschätzung zurückgegriffen werden [NAMBA].

Wichtig für die Akzeptanz oder Ablehnung eines Geräusches ist zudem seine Klangeigenschaft und -qualität. Um diese zu beschreiben, werden Attribute wie beispielsweise „scharf“, „schrill“, „rau“, „dumpf“ und „weich“ verwendet. Diese Attribute hängen stark mit der Höreigenschaft der jeweiligen Person ab und sind daher subjektiv belastet. Bei Hörversuchen zur Ermittlung der genannten Attribute besteht oft die Schwierigkeit, den Testpersonen die Begriffe exakt zu beschreiben und deutlich zu machen. Dementsprechend muss die Evaluierung der Ergebnisse kritisch erfolgen. Um die Geräuschqualität trotzdem objektiv bewerten zu können, werden für die Schärfe und die Rauigkeit physikalische Definitionen eingeführt. Die

¹ Vgl. [KREJCI, S. 63 ff]

Einheit der Schärfe wird in „acum“ angegeben und ist abhängig von der Bandmittenfrequenz des Signals und dem Schallpegel. Liegt die spektrale Dominanz eines Signals in hohen Frequenzen, so besitzt dieses eine hohe Schärfe. Die Definition der Schärfe lautet [KREJCI, S. 79f]:

$$@f_m = 1\text{kHz}, 60\text{dB} = 1\text{acum} \quad [2.1]$$

f_m Bandmittenfrequenz

Die Rauigkeit eines Signals hingegen ist ein Maß für dessen zeitliche Schwankungen. Es handelt sich in gewisser Weise um eine Amplitudenmodulation. Sie steigt, je größer der Modulationsgrad ist, und ist ab Schwankungsfrequenzen von 20 Hz hörbar, am besten aber bei Modulationsfrequenzen größer 70 Hz zu vernehmen. Außer der Modulationsfrequenz und dem Modulationsgrad spielt auch der Schallpegel, wenn auch nur in geringem Maße, eine Rolle. Die Rauigkeit wird in „asper“ angegeben [KREJCI, S. 81f]:

$$@f = 1\text{kHz}, 60\text{dB}, m = 1, f_{\text{mod}} = 70\text{Hz} \hat{=} 1\text{asper} \quad [2.2]$$

f_{mod} Modulationsfrequenz

m Modulationsgrad

Ein Maß für die Qualität des Signals ist zudem die Dauer der Beschallung, bis man dieses als lästig wertet. Je unangenehmer ein Geräusch für den Hörer ist, desto geringer ist die Zeit, dem man diesem ausgesetzt sein will. Daher können Geräusche, die nur für kurze Zeit geduldet werden, als Lärm bezeichnet werden.

Die empfundene Lästigkeit eines Signals hat aber auch zum großen Teil mit persönlichen Aspekten und dem sozialen Umfeld zu tun. Während Erste auf die Entwicklung jedes Einzelnen zurückzuführen sind, sind Zweite von der Gesellschaft geprägt und für eine breite Gruppe von Personen gültig. Wichtig ist, dass persönliche Faktoren nicht für Maßnahmen der Lärmbekämpfung herangezogen werden dürfen, soziale hingegen schon. Unter persönlichen Faktoren versteht man die Lärmempfindlichkeit, die Angst und die Akzeptanz eines Schalleinflusses. Je lärmempfindlicher eine Person ist, desto schneller bewertet sie ein Geräusch als lästig und daher als Lärm. Das bedeutet, dass sie sich im Vergleich zu anderen Personen bei niedrigerem Schallpegel schon belästigt fühlt. Die Lästigkeit steigt auch dann, wenn ein Schalleinfluss Angstgefühle auslöst. Hat der Betroffene den Glauben, ein bestimmtes Geräusch könne gesundheitliche Schäden verursachen, so wird er es in die Kategorie Lärm einordnen. Bemerkenswert ist, dass der Angstfaktor teilweise eine wichtigere Rolle zur Einschätzung eines Signals spielt als ein akustischer Parameter wie die Lautstärke. Dagegen werden Geräusche, die als notwendig und wichtig gesehen werden, eher akzeptiert und toleriert. Besteht also nach Meinung des jeweiligen Betroffenen eine „Daseinsberechtigung“ der Schallquelle, so wird er sie als weniger störend empfinden, als diese in anderem Zusammenhang bewertet werden würde. Zuletzt fließt in die Bewertung der Lästigkeit auch noch die Fähigkeit eines Jeden ein, inwiefern er sich an eine Geräuschumgebung gewöhnen kann. Je schlechter dies gelingt, desto höher ist die empfundene Lästigkeit. Auch die sozialen Faktoren, die die Lästigkeit beeinflussen, kann man feiner unterteilen. Beispielsweise ist die gesellschaftliche Bewertung und Notwendigkeit einer Schallquelle ein essentieller Punkt. Wie schon bei den persönlichen Faktoren gilt eine als gesundheitsschädigend erachtete Quelle als

Belastung und Gefährdung. Daher sind die Kontrollinstanzen für Schallimmissionen und -emissionen von großer Bedeutung, da sie die Bevölkerung vor unzulässiger Beschallung schützen sollen. Fehlt diesen jedoch das Vertrauen von Seiten der Bevölkerung, steigt automatisch das Lästigkeitsempfinden gegenüber vernehmbarer Schallquellen. Diese Unzufriedenheit kann durch Informationsaustausch, Lösungsvorschläge und den Willen zur Zusammenarbeit der Verursacher und Betroffenen auf einfache Weise reduziert werden. Ähnliches trifft auch auf die Schallentwicklung über einen größeren Zeitraum zu. Oft hat sich der Gesamtpegel objektiv gesenkt, trotzdem empfinden die betroffenen Personen subjektiv mehr Lärm. Ein gängiges Beispiel ist der Straßenverkehr, der während der letzten Jahre stetig zugenommen hat, während aber die emittierten Geräusche der einzelnen Autos geringer geworden sind. Das bedeutet, dass verstärkt auf die Häufigkeit, Dauer und die Verteilung eines Schallereignisses geachtet wird und nicht auf die Gesamtauswirkung, die dieses hat. Auch hier kann ein Dialog zwischen den Parteien zu einer Verringerung des Gefühls, Lärm ausgesetzt zu sein, führen [GURSKI].

Aufgrund dieser teilweise sehr individuellen Faktoren ist die Ermittlung der Lästigkeit einer Schallquelle schwierig, insbesondere weil auch das gesellschaftliche Umfeld eine bedeutende Rolle für diese Größe spielt. Daher werden Normen und Richtlinien definiert, die zur objektiven Beurteilung eines Schallereignisses herangezogen werden können. Diese beziehen sich in der Regel aber nur auf den bewerteten Schallpegel und lassen die oben beschriebenen durchaus wichtigen Merkmale zur Identifikation und Charakterisierung von Lärm außer Acht.

In der Richtlinie 2003/10/EG des europäischen Parlaments und des Rates sind die Pegelgrenzwerte definiert, ab welchen der Arbeitnehmer einer Gefährdung ausgesetzt ist und besondere Maßnahmen zu treffen sind. Dabei werden der Spitzenpegel, der Tagesexpositionspegel und der Wochenexpositionspegel als Richtwerte herangezogen. Es ist bekannt, dass regelmäßige Beschallung ab 85 dB(A) zu einer Beeinträchtigung des cortischen Organs führen kann, ab 130 dB(A) eine akute Schädigung festzustellen ist (siehe Kapitel 3.2.3). Aus diesem Grund darf ein Arbeitnehmer höchstens einem maximalen Schallpegel von 140 dB(C) ausgesetzt sein, wobei über 8 Stunden gemittelt 87 dB(A) nicht überschritten werden dürfen. Dieser zeitlich gemittelte Schallpegel nennt sich energieäquivalenter Dauerschallpegel und besagt, dass ein Anstieg oder Abfall um 3 dB im Mittel einer Halbierung respektive einer Verdoppelung der Expositionszeit entspricht. Ab diesem Wert spricht man von „Lärm“ und der Arbeitgeber muss dafür sorgen, dass der Arbeitnehmer sich schützt und die Beschallungsdosis geringer wird. Der Wochenexpositionspegel ist die Mittelung über 5 Arbeitstage je 8 Stunden und wird herangezogen, falls die Beschallung von Tag zu Tag große Unterschiede aufweist. Auch dieser darf im Mittel nicht über 87 dB(A) liegen [EG1]. Die Berechnung des energieäquivalenten Dauerschallpegels erfolgt über die Formel²:

$$L_{EP,d} = L_{Aeq,Te} + 10 \log_{10} \frac{T_e}{T_0} \quad [2.3]$$

$$\text{mit } L_{Aeq,Te} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} \left[\frac{P_A(t)}{P_0} \right]^2 dt \right) \quad [2.4]$$

² Vgl. [EG3]: Artikel 2

| | |
|------------|------------------------------------|
| $L_{EP,d}$ |tägliches Expositionspegel |
| T_e |tägliche Expositionsdauer |
| T_0 |8 Stunden |
| P_0 |20 μPa |
| $P_A(t)$ |A-bewertete Schalldruck in Pa |

Die Wochenexposition berechnet sich über den Mittelwerte der Tageswerte $L_{EP,d}$:

$$L_{EP,w} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{5} \sum_{k=1}^m 10^{\frac{(L_{EP,d})_k}{10}} \right) \quad [2.5]$$

m gearbeitete Tage in der Woche

Für Umgebungslärm wurde die Richtlinie 2002/49/EG durch die Europäischen Union verabschiedet, die durch das Bundes-Umgebungslärmschutzgesetz von 2006 in Österreich umgesetzt ist. Ziel ist die Reduktion von schädigendem Umgebungsschall und der dadurch verursachten Belästigung, die durch Menschen, den Straßen-, Schienen- und Luftverkehr oder die Industrie entsteht. Als physikalische Größe dient der Lärmindeks, der für verschiedene Tagesabschnitte festgelegt ist. Es gilt der Lärmindeks L_{day} für den Zeitraum von 7:00 bis 19:00 Uhr, der L_{evening} für die Zeit von 19:00 bis 23:00 Uhr und der L_{night} für die restlichen Stunden in der Nacht. Es handelt sich jeweils um den energieäquivalenten Dauerschallpegel über das gesamte Jahr an jedem Tag in den jeweiligen Stunden in dB(A) gemäß der ISO 1996-2:1987. Zusammengefasst werden diese drei Indizes als der Tag-Abend-Nacht-Pegel L_{den} wie folgt³:

$$L_{\text{den}} = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{\text{day}}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{\text{evening}} + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{\text{night}} + 10}{10}} \right) \right] \quad [2.6]$$

Die Bewertung erfolgt durch eine Dosis-Wirkung-Relation des Umgebungslärms auf die Bevölkerung, aus der die Schwellenwerte bestimmt werden (siehe Kapitel 4.1.3) [EG2].

³ Vgl. [EG2, S. 18f]: ANHANG I, Lärmindeks

2.2 Einfluss von Lärm auf den Körper

Nach der Definition von Lärm stellt sich die Frage, welche Belastung Lärm für den menschlichen Körper darstellt.

Es kann grundsätzlich zwischen einer auralen Wirkung und einer extraauralen Wirkung von Schall unterschieden werden. Abbildung 2.1 stellt die Grenzwerte der jeweiligen Lärmwirkungen dar, wobei die vegetativen Lärmwirkungen und die psychischen unter dem Begriff „extraaurale Wirkung“ zusammengefasst werden. Demnach kommt es ab Pegel zwischen 30 und 40 dB(A) bereits zu psychischen Veränderungen, ab 65 bis 75 dB(A) zu vegetativen und ab 85 dB(A) zu auralen.

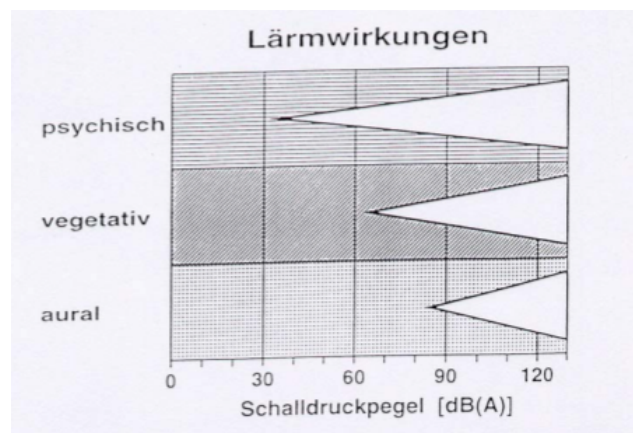


Abbildung 2.1: Auslöseschwellen für Schallwirkungen [KÖCKEMANN, S. 12]

Unter auraler Wirkung versteht man jegliche Funktionsbeeinträchtigung des Gehörs aufgrund des Schalls. Diese kann reversibel (zeitlich begrenzte Hörschminderung) oder irreversibel (z.B. Zerstörung der Haarzellen) sein und kann die gesamte Gehörkette vom Außen-, Mittel- oder Innenohr bis hin zum Hörnerv betreffen. In Kapitel 3 werden diese Arten von Hörbeeinträchtigung genauer behandelt.

Die extraauralen Wirkungen zeichnen sich durch veränderte Verhaltensweisen in der Kommunikation und im sozialen Umgang zwischen den Menschen ab und beeinflussen das psychische Befinden eines Jeden. Außerdem werden Körperfunktionen manipuliert, die nicht mit dem Gehör zusammenhängen. Damit sind neuronale, psychologische, biologische und vegetative Mechanismen gemeint, die auf den Schalleinfluss reagieren [EIFF]. Zu unterscheiden sind insbesondere psychische Reaktionen von vegetativen Reaktionen. Erstgenannte betreffen das Nervenzentrum und damit vor allem das menschliche Gehirn. So beeinflusst der Schall im Gehirn unter anderem die Gefühlslage, die Motivation, die Leistungsfähigkeit und den Hormonhaushalt. Somit sind Organe, die von Hormonen beeinflusst werden, auch vom Schalleinfluss betroffen. Vegetative Reaktionen betreffen die Vitalfunktionen des Körpers und können daher weitreichende Folgen für den Betroffenen haben.

Der Zusammenhang von geistiger Leistungsfähigkeit und Lärmeinfluss wird in verschiedenen Studien analysiert, die zu teils konträren Ergebnissen führen⁴. Die Vermutung, dass Lärm grundsätzlich die Gehirnleistung herabsetzt und zu Konzentrationsschwierigkeiten führt, kann nicht allgemein bestätigt werden. Betrachtet man die Leistungen im Hinblick auf die Lärm-

⁴ Vgl. [BELOJEVIC]

empfindlichkeit, so sinkt bei empfindlicheren Personen unter Lärmbedingungen das Vermögen des Kurzzeitgedächtnisses und sie haben größere Schwierigkeiten bei mathematische Berechnungen. Außerdem gelten lärmtolerante Menschen als arbeitseffizienter und schneller, da sie auch unter Schalleinwirkung die geringsten Probleme haben, ihre Leistungsfähigkeit abzurufen. Dies kann besonders dann von Vorteil sein, wenn zu der Lärmbelastung auch noch zusätzliche Stressfaktoren hinzukommen. Grundsätzlich hat die subjektive Lärmempfindlichkeit und nicht der Schallpegel eines Geräusches eine größere Auswirkung auf die geistige Leistung.

Schall kann, wie bereits erwähnt, auch den Hormonhaushalt des Körpers beeinflussen. Dies ist schon bei sehr leisen Pegeln der Fall, wie sie während der Nacht vorkommen. Besonderes Augenmerk liegt auf den so genannten Stresshormonen, die eine essentielle Rolle im Stoffwechsel haben. Sie bewirken Veränderungen der Herzaktivität sowie der Bluteigenschaften – unter anderem auch des Blutdrucks und der Blutviskosität –, die zu Bluthochdruck, Arterienverkalkungen und Herzinfarkte führen können. Es ist bekannt, dass Lärmbelastung Stressreaktionen hervorrufen, die jedoch von verschiedenen Faktoren abhängig sind. BABISCH⁵ stellt verschiedene Studien vor, die den Einfluss vom Schall auf die Stresshormone „Adrenalin“, „Noradrenalin“ und „Cortisol“ analysieren. Abhängig von der spektralen und zeitlichen Zusammensetzung eines Geräusches werden die Stresshormone unterschiedlich stark beeinflusst. Schalleinwirkungen mit Unterbrechung, sogenannter impulshafter Schall, lösen eine stärkere Stressreaktion aus als eine kontinuierliche Beschallung. Hinzu kommt, dass die Ausschüttung von Stresshormonen besonders dann mit Lärm in Verbindung gebracht werden kann, wenn einer Person bestimmte Leistungen wie z.B. mathematische Aufgabenstellungen oder komplexe Arbeitsabläufe abverlangt werden. Verstärkt wird dies noch zusätzlich durch andere Faktoren wie Alter, Lärmempfindlichkeit, Herz-Kreislauf-Beschwerden, neurotische Probleme und Fehlfunktionen im Stoffwechsel.

Vegetative Mechanismen, also überlebensnotwendige Funktionen wie der Herzschlag, die Atmung oder der Blutdruck, können von Schallpegeln ab ca. 65 dB(A) manipuliert werden und dadurch für Risikopatienten sogar tödliche Folgen haben. Um diese Belastung so gering wie möglich zu halten, liegen die Immissionsgrenzwerte für Wohnräume in Österreich bei höchstens 60 dB(A) energieäquivalentem Dauerschallpegel. Da ein schlafender Mensch ca. 15 dB empfindlicher ist als im Wachzustand, sind die nächtlichen Schwellwerte um 15 dB unter den Tageswerten (siehe Kapitel 4.1.3).

Die Expositionsdauer eines Schallereignisses auf den menschlichen Körper spielt eine wichtige Rolle in Hinsicht auf extraaurale Reaktionen. Während akute Beschallung zu Sofortreaktionen führen kann, kann die Langzeiteinwirkung von Schall Veränderungen im Körper hervorrufen, die auch noch nach der Exposition weiterhin bestehen und sogar voranschreiten können. Zu erwähnen ist, dass sich zwar einerseits der menschliche Körper bei längerer Schalleinwirkung auf diese einlassen und sich anpassen kann, andererseits aber mit zunehmender Zeit auch die Lästigkeit und Unzufriedenheit steigt. Diese Belastung kann wiederum zu psychologischen und körperlichen Funktionsstörungen und sogar zu Organschäden führen [EIFF].

Sofortreaktionen aufgrund einer Schalleinwirkung sind abhängig von der Schnelligkeit des Pegelanstiegs und dem Lärmempfinden der jeweiligen Person. Nur selten bewirkt eine kurze

⁵ Vgl. [BABISCH1]: Gegenüberstellung verschiedener Lärmquellen und deren Wirkung auf Stresshormone, Auswirkungen der Stresshormone auf den Stoffwechsel

Schalleinwirkung Organschäden oder bleibende extraaurale Beschwerden. Es kann jedoch zu einem starken Blutdruckanstieg kommen, der bei chronischen Bluthochdruckpatienten zu Gefäßrupturen führen und im schlimmsten Fall einen Herzinfarkt verursachen kann. Außerdem kann ein starker Schallimpuls eine Verletzung der Lunge hervorrufen, die im ungünstigen Fall zum Tod führen kann. Ferner ist eine Zunahme der Herzfrequenz messbar und aufgrund des unerwarteten Schalls kommt es zu Muskelanspannungen und teilweise motorischen Schwierigkeiten, die ein erhöhtes Unfallrisiko darstellen können. Die beschriebenen Reaktionen treten umso verstärkter auf, je höher die Energie des Impulses in den tiefen Frequenzen ist. Viele dieser akuten Veränderungen können auch bei längerer Schallexposition auftreten [KÖCKEMANN].

Inwiefern eine Langzeitbeschallung körperliche Vorgänge einschränkt oder manipuliert, ist bereits in zahlreichen Studien zu nahezu jedem Organ behandelt worden. Zu einer der am häufigsten untersuchten Organen – da überlebensnotwendig – zählt das Herz und das damit verbundene Herz-Kreislauf-System. Die aus den Studien hervorgehenden Ergebnisse sind jedoch zum Teil widersprüchlich und zeigen die Schwierigkeit, den Einfluss von Lärm auf vegetative Prozesse im Körper zu verstehen. Grundsätzlich besteht das Problem, dass die gemessenen Reaktionen nicht nur auf den Lärm zurück geführt werden können und sämtliche Störfaktoren das Ergebnis beeinflussen und dadurch verzerren. Aus dem Vergleich verschiedener Studien kann behauptet werden, dass hohe Schallpegel, lange Expositionszeiten und geringer Schallschutz zu einem Anstieg des Blutdrucks führen⁶. Dies bekräftigt auch die Beobachtung von erhöhtem Blutdruck bei Personen, die an einem lärmbedingten Hörschaden erkrankt sind (siehe Kapitel 3.2.3). Zudem scheint auch das Risiko für Herzinfarkte ab Pegelwerten von 85 dB(A) zu zunehmen, besonders bei Menschen mit einer sensibleren Lärmempfindung.

KORN⁷ analysiert in ihrer Dissertation die vegetativen Körperreaktionen, besonders in Hinblick auf den Arbeits- und Umweltlärm. Demnach kommen zahlreiche Studien zu dem Ergebnis, dass chronischer Arbeitslärm den Blutdruck beeinflusst und zu einem Anstieg desselben führt, besonders bei Personen, die Schallpegeln von mehr als 75 dB(A) ausgesetzt sind. Nur wenige Studien haben bisher das Herzinfarktrisiko durch Arbeitslärm behandelt, wobei nach jetzigem Stand von einem positiven Zusammenhang gesprochen werden darf. Im Anbetracht der subjektiven Lärmbelästigung am Arbeitsplatz darf davon ausgegangen werden, dass das Herz-Kreislauf-System von sensiblen Personen durch Arbeitslärm negativ beeinflusst wird. Diese beklagen sich zusätzlich über Schlafstörungen und haben ein erhöhtes Unfallrisiko während der Arbeit. Außerdem ist ein höherer krankheitsbedingter Ausfall zu erwarten. Der Einfluss von Umweltlärm, wie beispielsweise Nachbarschafts-, Verkehrs- oder Fluglärm, ist bis jetzt nicht genau auszumachen. Es gibt Hinweise auf eine erhöhte Gefahr von Herzerkrankungen ab Schallpegeln von über 66 dB(A). Hinsichtlich einer Blutdruckänderung gibt es keine signifikanten Ergebnisse. Es wurde jedoch festgestellt, dass Personen, die erhöhtem Fluglärm ausgesetzt sind, häufiger zum Arzt gehen und vermehrt Medikamente einnehmen.

Aufgrund der Komplexität des menschlichen Körpers im Hinblick auf psychische und vegetative Funktionen fällt es nach wie vor schwer signifikante Ergebnisse der extraauralen Wirkungen auf den Körper zu ermitteln. Zusammenfassend kann behauptet werden, Lärm habe

⁶ Vgl. [KÖCKEMANN, S. 16-18] und [BABISCH2, S. 25]

⁷ Vgl. [KORN, S. 9-15]

einen extraauralen Einfluss, der vom persönlichen Lärmempfinden, der körperlichen Verfassung, der Expositionsdauer und der Zusammensetzung des Geräusches abhängig ist.

3 Hörschäden

Unter einem Hörschaden versteht man eine Beeinträchtigung des Hörsystems, die eine Hörverschlechterung und/oder das Hinzukommen von Ohrgeräuschen (Tinnitus) bedeutet. Hörschäden können an verschiedenen Stellen des Hörsystems entstehen. Wird ein Hörschaden auf das Außen- bzw. Mittelohr zurückgeführt, spricht man von einer Schalleitungsschwerhörigkeit (*conductive hearing loss*). Gilt hingegen das Innenohr oder der Hörnerv als Auslöser, wird diese Art von Hörschaden als Schallempfindungsschwerhörigkeit (*sensorineural hearing loss*) bezeichnet (siehe Abbildung 3.1). Außerdem können sie auch in Kombination auftreten [RUTKA]. Aufgrund der zahlreichen Arten von Hörverlusten und ihren Ursachen, sind noch nicht alle erforscht oder können mit heutigem Wissen nicht erklärt werden. Nachfolgend werden die häufigsten Hörschäden der beiden obengenannten Gruppen dargestellt.

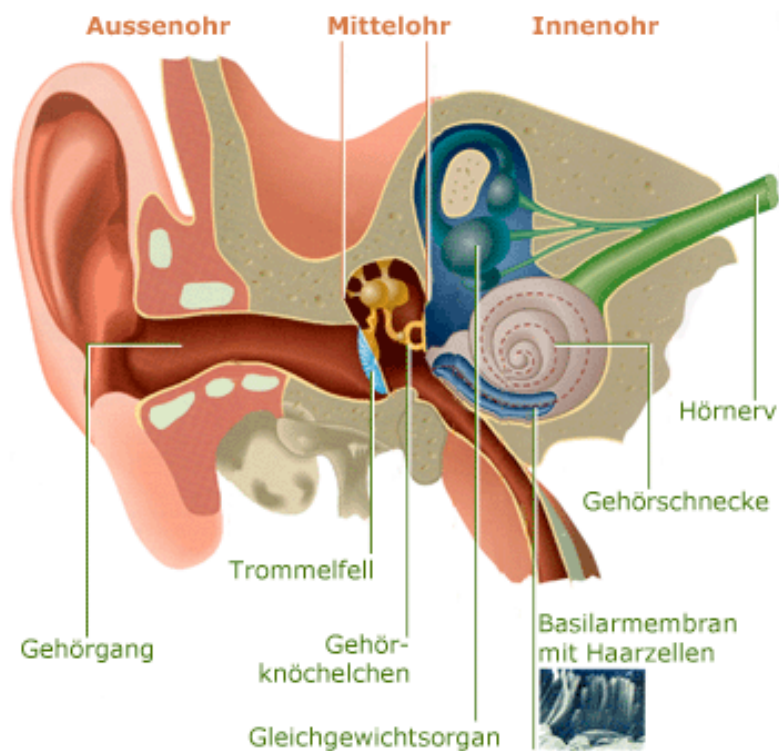


Abbildung 3.1: Das menschliche Ohr [TINNITUSZENTRUM]

3.1 Schalleitungsschwerhörigkeit

Es wird von einer Schalleitungsschwerhörigkeit gesprochen, wenn ein Hörschaden am Außen- oder Mittelohr vorliegt. Beispielsweise kann eine Veränderung des Gehörgangs oder eine Entzündung des Mittelohrs einen solchen Hörverlust verursachen, der oftmals medikamentös oder operativ behandelt werden kann. Der Schalleitungshörschaden ist durch ein Audiogramm leicht festzustellen. Dazu werden die Hörschwellen der Luftleitung und der Knochenleitung ermittelt. Ist die Hörschwelle der Luftleitung herabgesetzt, während die der Knochenleitung keine Verluste erkennen lässt, kann von einem Schalleitungsschaden ausgegangen werden. Abbildung 3.2 zeigt ein typisches Audiogramm einer Schalleitungsschwerhörigkeit. Die durchgezogenen Linien (o für rechtes Ohr und x für linkes) stellen dabei die Luftleitung dar und die strichlierten Linien (> bzw. <) die Knochenleitung.

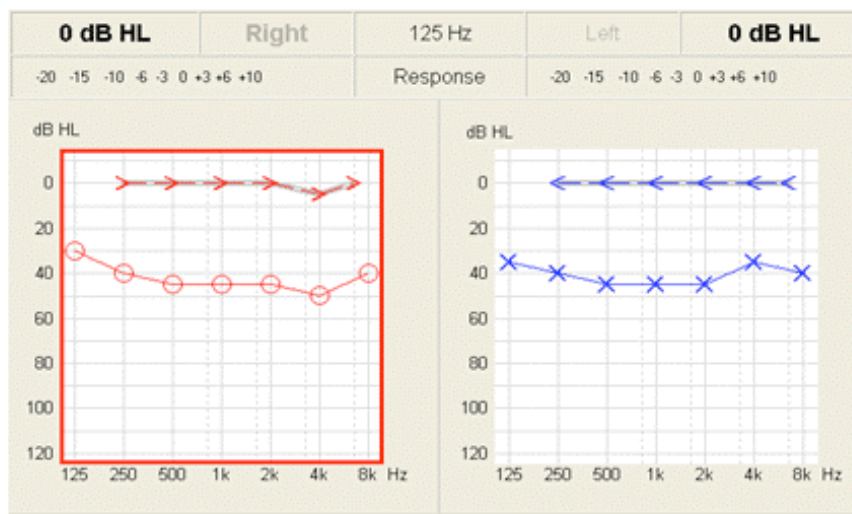


Abbildung 3.2: Audiogramm eines Schalleitungshörschadens [SIEMENS]

Nachfolgend wird eine Übersicht der häufigsten Krankheitsbilder gegeben, die einen Schalleitungshörverlust hervorrufen. Aufgrund der Komplexität der einzelnen Krankheiten und deren oft stark variierenden Symptomen, wird die Ursache und der Verlauf nicht im Detail beschrieben.

3.1.1 Blockierung des Gehörgangs

| | |
|---------------------------|---|
| Art des Schadens | Blockierung des äußeren Gehörgangs durch Ohrenschmalz |
| typische Beschwerden | Hörminderung, Ohrenschmerzen, Schwindel |
| Häufigkeit des Auftretens | ca. 33% der älteren Generation |
| Behandlungsmöglichkeiten | Entfernen der Blockierung |

Eine Blockierung des Gehörgangs kann durch einen Gegenstand oder durch eine Überproduktion des natürlichen Ohrenschmalzes erfolgen. Dadurch wird der Schall nur noch abgeschwächt an das Trommelfell weitergegeben, was zu einer Hörabschwächung führt. Ferner

kann ein Tinnitus mit einhergehen und Ohrenschmerzen oder Schwindel können als zusätzliche Symptome auftreten [AUNG].

Die Überproduktion von Ohrenschmalz ist personenabhängig, kann aber durch Schmutz und Wasser im Ohrkanal begünstigt werden. Außerdem kann eine unsachgemäße Reinigung mit Wattestäbchen oder die Verwendung von Hörgeräten und Gehörschutz zu einer Pfropfbildung führen. Gegenstände, die den Gehörgang blockieren, müssen mit erhöhter Vorsicht entfernt werden, um keinen weiteren Schaden am Gehör oder Schmerzen auszulösen [KUMAR].

Die Blockierung des Gehörgangs ist die häufigste Schalleitungsschwerhörigkeit bei Erwachsenen. Knapp ein Drittel der älteren Personen leiden an einer Überproduktion von Ohrenschmalz und müssen behandelt werden [AUNG, SINCLAIR]. Die Entfernung erfolgt durch einen Arzt, kann aber bei unsachgemäßer Durchführung zu Trommelfellrisen und dadurch zu weiteren Hörbeeinträchtigungen führen⁸.

3.1.2 Exostose und Osteom im Außen- und Mittelohr

| | |
|---------------------------|--|
| Art des Schadens | Bildung von Knochen im Gehörgang |
| typische Beschwerden | Hörminderung, Gefahr einer Ohrenentzündung |
| Häufigkeit des Auftretens | 3-6% der Bevölkerung |
| Behandlungsmöglichkeiten | operativer Eingriff |

Die Bildung neuer Knochen im Gehörgang werden Exostose oder, wenn es sich um einen gutartigen Tumor handelt, Osteomen genannt [WIKIPEDIA1]. Die dadurch entstehende Verengung des Gehörgangs führt zu einer leichteren Ansammlung von Schmutz und Ohrenschmalz, wodurch dieselben Hörbeschwerden, wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, auftreten können. Zusätzlich besteht die erhöhte Gefahr einer Ohrenentzündung. Die Neubildung tritt üblicherweise beidseitig auf, wobei sie häufiger bei älteren Personen vorzufinden ist.

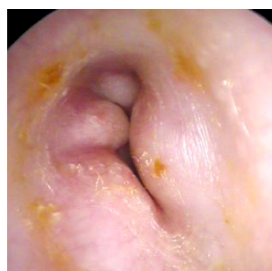


Abbildung 3.3: Verengung des äußeren Gehörgangs durch eine Gehörgangsexostose [MLYNSKI, S. 410]

Da Exostosen besonders bei Personen festgestellt wurden, die vermehrt mit kaltem Wasser in Verbindung kommen, gilt dieses als eine der Hauptursachen für die Knochenneubildung. Die Dauer, der man Kaltwasser ausgesetzt ist, korreliert mit dem Fortgeschrittenheitsgrad der Knochenneubildung. Auch der Druck, der durch das Tragen von Hörgeräten oder Gehör-

⁸ Vgl. [AUNG, SHARP, KUMAR]: Verschiedene Verfahren zur Entfernung von Ohrenschmalz

schutz auf den Gehörgang wirkt, könnte Verursacher von Exostosen oder Osteomen sein [KAREGEANNES].

Exostosen in den Ohren treten bei 3-6% der Bevölkerung auf und sind häufiger beim männlichen Geschlecht vor zu finden [MLYNSKI]. Ferner sind mit größerer Wahrscheinlichkeit Europäer oder Menschen aus dem Orient von dieser Krankheit betroffen. Die US Marine⁹ hat in einer Studie herausgefunden, dass 26% ihrer Taucher Knochenneubildungen haben. Laut einer japanischen Forschungsarbeit an Surfern litten sogar 80% dieser an Exostosen, weshalb die Bezeichnung „surfer’s ear“ im Volksmund auch treffend erscheint. Die Studien bekräftigen somit die Vermutung, dass Kaltwasser eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von Exostosen spielt.

In seltenen Fällen können Osteomen im Mittelohr auftreten. Die häufigste Folge ist eine Schalleitungsschwerhörigkeit durch die Fixierung oder Verrückung der Gehörknöchelchen, durch die Einschränkung der Trommelfellbewegung oder durch die Verdeckung des sogenannten runden Fensters. Die Ursache der Entstehung ist nicht geklärt und wenig erforscht, da es bis heute nur 23 beschriebene Fälle in der englischsprachigen Literatur gibt [KIM].

Exostosen und Osteomen müssen und sollten nur dann operativ behandelt werden, wenn die betroffene Person sich über Schmerzen oder Hörbeeinträchtigung beschwert. Auch bei diesem Eingriff besteht immer die Gefahr einer Trommelfellverletzung.

3.1.3 Trommelfellperforation

| | |
|---------------------------|---|
| Art des Schadens | Schaden am Trommelfell |
| typische Beschwerden | Hörminderung, Schaden an Gehörknöchelchen |
| Häufigkeit des Auftretens | im Flugzeug bei 5% der Erwachsenen / 25% der Kinder |
| Behandlungsmöglichkeiten | Trommelfell regeneriert sich i.d.R. von selbst |

Das Trommelfell ist für die Umwandlung der bei Schallausbreitung entstehenden Luftdruckschwankungen in mechanische Schwingungen zuständig. Es stellt daher einen essentiellen Teil des Hörapparates dar. Kommt es zu einem Schaden am Trommelfell, so verschlechtert sich dadurch auch erheblich die Schallübertragung ins Innenohr, was sich als eine Hörminderung auswirkt (siehe Abbildung 3.4). Zusätzlich können in Folge zum Einen die Gehörknöchelchen im Mittelohr Schaden erleiden und somit den Hörverlust verstärken, zum Anderen sich Entzündungen bilden, die eine weitere Verschlechterung des Hörvermögens auslösen können [GARTH].

⁹ Vgl. [KAREGEANNES]

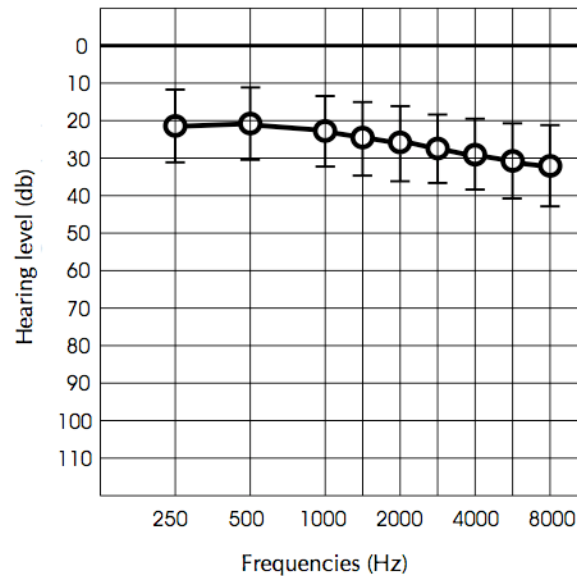


Abbildung 3.4: Gemittelte Hörkurve verschiedener Patienten mit Trommelfellruptur [SPREM, S. 644]

Zu einer Perforation des Trommelfells kommt es immer dann, wenn der Druck darauf zu groß ist. Das kann durch einen Gegenstand (beispielsweise Wattestäbchen), durch Mittelohrentzündungen oder durch zu hohen Schalldruck (Explosionen) ausgelöst werden [HOWARD1]. Das menschliche Trommelfell hält in der Regel einem Druck von bis zu 35 kPa (ca. 185 dB(SPL)) unversehrt stand, wobei die Schmerzgrenze schon bei 20-200 Pa (120-140 dB(SPL)) liegt. Bei 105 kPa (ca. 195 dB(SPL)) erleiden 50% der Menschen einen Trommelfellriss. Normalerweise kommt es sowohl in der Arbeitsumgebung wie auch in der Freizeit zu keinem Schaden am Trommelfell, da dort nicht diese extremen Pegel erreicht werden. Anders ist es jedoch bei Personen, die Opfer von Bombenanschlägen oder Explosionen von teilweise mehreren Megapascal geworden sind. Ihre häufigste Verletzung ist die Trommelfellperforation [SPREM].

Stark gefährdet sind zudem Personen, die schnellen und starken Druckschwankungen ausgesetzt sind. Besonders wenn die eustachische Röhre blockiert ist, kann es zu einem Barotrauma¹⁰ im Mittelohr kommen, das das Trommelfell zum Reißen bringen kann. Häufig geschieht dies bei Sporttauchern, die zu schnell unter- oder auftauchen. Die Druckanpassung über die eustachische Röhre kann der schnellen Änderung des äußeren Drucks nicht folgen, so dass die Differenz zwischen Außen- und Mittelohr so groß wird und die Membran reißt [BECKER]. Dasselbe Phänomen entsteht beim Fliegen, wobei 5% der Erwachsenen und 25% der Kinder ein Barotrauma erleiden. Das muss aber nicht sofort einen Riss der Membran bedeuten, sondern kann auch zu einer Entzündung derselben führen, die sich im weiteren Verlauf zu einem Schaden am Trommelfell ausbilden kann. Betroffene klagen vor der Ruptur über starke Schmerzen aufgrund des hohen Drucks auf das Trommelfell. Bei einem Riss treten nicht selten Ohrgeräusche und Schwindelgefühle zusätzlich zur Hörminderung auf [KANICK].

Die Behandlung einer Trommelfellperforation beschränkt sich auf die Kontrolle des sich in der Regel selbstständig schließenden Trommelfells. Ist dies nicht der Fall, kann es zu Ohrentzündungen kommen, die eine weitere Hörminderung nach sich ziehen. Sind die Gehörknöchelchen zu Schaden gekommen, müssen diese operativ behandelt werden.

¹⁰ Vgl. [WIKIPEDIA2]: Weiterführende Informationen über Barotraumen

3.1.4 Ohrenentzündungen

Ohrenentzündungen gehören zu den häufigsten Erkrankungen im Kindesalter. Etwa 50% der Kinder haben vom ersten bis zum sechsten Lebensmonat eine Ohrenentzündung erlitten [IR-LA], 80% bis zum 8. Lebensjahr [PAU]. Da im ungünstigen Fall die Sprachentwicklung eines Kindes durch die verursachte Schalleitungsschwerhörigkeit gebremst wird, sollte bei Verdacht sofort der Arzt aufgesucht werden. Unterschieden werden Entzündungen, die das Außenohr oder den äußeren Gehörgang betreffen von denen, die das Mittelohr betreffen. In beiden Fällen kann sich die Entzündung zu einer chronischen Erkrankung entwickeln.

3.1.4.1 Otitis externa

| | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Art des Schadens | Entzündung des äußeren Ohres |
| typische Beschwerden | Juckreiz, Hörminderung |
| Häufigkeit des Auftretens | 3-5% der Bevölkerung |
| Behandlungsmöglichkeiten | lokale Anwendung von Medikamenten |

Eine Entzündung des äußeren Ohres und des Gehörgangs nennt man Otitis externa. Die Krankheit beginnt mit Juckreiz und kann in fortgeschrittenem Stadium zu einer Schalleitungsschwerhörigkeit führen. Der äußere Gehörgang schwillt aufgrund der Entzündung so stark an, dass er verschlossen wird und den Schalleinfall dämpft. Die Hörschwäche ist daher mit der einer Blockierung des Gehörgangs vergleichbar. Für immungeschwächte und ältere Menschen kann die Entzündung in seltenen Fällen sogar einen tödlichen Verlauf nehmen, wenn sie zu spät behandelt wird¹¹. In 90% der Fälle tritt die Krankheit an beiden Ohren auf [OSGUTHORPE].

Auslöser der Krankheit sind häufig Bakterien und Pilze, die sich besonders gut im warmen, feuchten und dunklen Gehörgang des Ohres ausbreiten können. Außerdem können dermatologische Prozesse das Gehörgangsgewebe angreifen und eine Otitis externa auslösen. Zur Vermeidung der Entzündung produziert der menschliche Körper Ohrenschmalz, das wasserabweisend wirkt und das den bakteriellen Wachstum eindämmt. Zusätzlich befindet sich ein einzigartiges Deckgewebe im Gehörgang, das vom Trommelfell in Richtung Ohrmuschel wandert und dadurch den Schmutz von innen nach außen transportiert [SANDER]. Bei einer Fehlfunktion dieser Schutzmechanismen kann es jedoch schnell zu einer Entzündung kommen. Besonders betroffen sind Personen, die sich häufig im Wasser aufhalten, Hörgeräte oder Gehörschutz tragen und an dermatologischen Krankheiten oder Allergien leiden. In den Vereinigten Staaten erkranken jedes Jahr etwa 0,4% der Bevölkerung an einer akuten Außenohrentzündung, 3 bis 5% an einer chronischen. Die Otitis externa kann in der Regel mit lokal angewandten Medikamenten, wie beispielsweise Ohrentropfen oder Antibiotika, behandelt werden [OSGUTHORPE].

¹¹ Vgl. [HANDZEL]: Artikel über nekrotisierende Außenohrentzündung: Krankheitsentstehung und Behandlung

3.1.4.2 Otitis media

| | |
|---------------------------|---|
| Art des Schadens | Entzündung des Mittelohrs |
| typische Beschwerden | starke Hörminderung, Trommelfellriss, Beschädigung der Gehörknöchelchen |
| Häufigkeit des Auftretens | 1-5% der Bevölkerung, häufigste Hörbeschwerde |
| Behandlungsmöglichkeiten | operativ (Paukenröhrchen), Medikamente |

Die Mittelohrentzündung ist eine weit verbreitete Krankheit, an der weltweit zwischen 65 und 330 Millionen Menschen chronisch erkrankt sind, wovon 60% eine beachtliche Hörminderung haben. Die Krankheit ist in der westlich zivilisierten Welt mittlerweile seltener vertreten, wobei die Weltgesundheitsorganisation (WHO) davon ausgeht, dass mehr als die Hälfte der weltweiten Hörbeschwerden aufgrund einer Mittelohrentzündung bestehen [ACUIN].

Eine Mittelohrentzündung kann eine starke Hörminderung für die betroffene Person bedeuten. Da sich das Mittelohr mit Flüssigkeit füllt, wird die Bewegung der Gehörknöchelchen und des Trommelfells eingeschränkt. Dadurch, dass das Trommelfell nicht mehr frei schwingen kann, ist die Folge eine Hörverschlechterung von bis zu 50 dB [PAU]. Wenn das Trommelfell außerdem dem Druck der Flüssigkeit nicht mehr standhalten kann, reißt die Membran und es kommt zu einer zusätzlichen Verschlechterung der Höreigenschaft (siehe Kapitel 3.1.3). Handelt es sich bereits um eine chronische Erkrankung, besteht die Gefahr einer Beschädigung der Gehörknöchelchen und eines bakteriellen Befalls des Innenohrs. Dadurch kommt zu der bereits bestehenden Schallleitungsschwerhörigkeit eine Schallempfindungsschwerhörigkeit dazu [ACUIN].

Die Ursache einer Mittelohrentzündung ist ein viraler oder bakterieller Befall, der über die Atemwege oder über ein perforiertes Trommelfell ins Mittelohr gelangt. Die hervorgerufene Entzündung blockiert die eustachische Röhre und verhindert somit eine Belüftung des Mittelohrs. In Folge sammelt sich Flüssigkeit im Mittelohr an. Da die eustachische Röhre bei Kindern noch sehr kurz ist, ist sie besonders für Entzündungen, die über die Atemwege herühren, anfällig [BOOTZ]. Die ersten Symptome sind in der Regel Ohrenschmerzen, denen rasch eine Verringerung des Hörvermögens folgt. Da besonders Kinder von dieser Krankheit betroffen sind und ein Hörschaden in jungem Alter erhebliche Einflüsse auf die Entwicklung hat, sollte dieser schnellstmöglich behoben werden. In ungünstigen Fällen kann die Krankheit sogar zu tödlichen Entzündungen führen, beispielsweise zu einer Hirnhautentzündung [IR-LA].

Bei früh einsetzender Therapie kann eine Mittelohrentzündung in der Regel gut behandelt werden. Ziel ist immer die Belüftung des Mittelohrs, was teilweise durch das Einsetzen eines kleinen Röhrchens im Trommelfell, dem sogenannten Paukenröhrchen, geschieht. Zusätzlich muss die Entzündung medikamentös behandelt werden. Je nach Fortschritt der Krankheit kommen verschiedene Verfahren zur Anwendung¹². Bei chronischer Mittelohrentzündung besteht die Gefahr, dass das Trommelfell nicht richtig verheilt und mit der Zeit vernarbt. Darunter leidet die Schwingeigenschaft der Membran und somit sinkt das Hörvermögen [ACUIN].

¹² Vgl. [BOOTZ, S. 534ff]: Therapieverfahren zur Behandlung einer Mittelohrentzündung

3.1.4.3 Cholesteatom

| | |
|---------------------------|--|
| Art des Schadens | Gewebeneubildung im Mittelohr, Mittelohrentzündung |
| typische Beschwerden | starke Hörminderung, Beschädigung der Gehörknöchelchen |
| Häufigkeit des Auftretens | sehr selten |
| Behandlungsmöglichkeiten | Entfernen des Gewebes |

Ein Cholesteatom ist Gewebe, das ins Mittelohr hineinwächst und dort zu einer chronischen Entzündung führt. Dabei kann das Cholesteatom angeboren sein oder durch ein beschädigtes Trommelfell ins Mittelohr hinein wachsen. Da die Gehörknöchelchen angegriffen werden und im späteren Stadien auch das Innenohr in Mitleidenschaft gezogen werden kann, ist bei beiden ein stark ausgeprägter Hörschaden die Folge [SUDHOFF]. Die Geschwulst kann im fortgeschrittenen Stadium zu erheblichen Komplikationen führen und muss deswegen so früh wie möglich entfernt werden.

Es gibt zwei verschiedene Möglichkeiten des operativen Eingriffs. Bei der offenen Methode wird die Struktur des Mittelohrs verändert, wodurch sich die Position des Trommelfells notgedrungen verändert, da der Hammer und der Ambos der Gehörknöchelkette wegfallen müssen. Dadurch muss der Steigbügel direkt an der Membran befestigt werden, was eine Schallleitungs-minderung von bis zu 20 dB bedeutet. Der Vorteil ist jedoch die vollständige Entfernung des Cholesteatoms. Die geschlossene Methode ermöglicht hingegen das Entfernen des Cholesteatoms ohne eine Hörschädigung. Dieser Eingriff ist aber weitaus komplizierter und es können Gewebereste übersehen werden, die sich wiederum zu einem Cholesteatom entwickeln können [STROHM]. Cholesteatome kommen äußerst selten vor, wobei Europäer gefolgt von Afrikanern am häufigsten betroffen sind und Asiaten nur sehr selten daran erkranken¹³.

3.1.5 Otosklerose

| | |
|---------------------------|---|
| Art des Schadens | Verknöcherung der Steigbügelplatte |
| typische Beschwerden | Hörminderung, Schwindel, Tinnitus |
| Häufigkeit des Auftretens | ca. 8,3% der weißen / 1% der farbigen Bevölkerung |
| Behandlungsmöglichkeiten | operativer Eingriff, Einsatz einer Prothese |

Otosklerose ist eine häufige Ursache für Hörbeschwerden. Sie ist die Erkrankung des Knochens, der das Innenohr umgibt (Labyrinthkapsel) und bewirkt meist eine Versteifung der Steigbügelplatte, an der der Steigbügel befestigt ist (siehe Abbildung 3.5). Der Luftschall wird über das Trommelfell und den dahintersitzenden Gehörknöchelchen als mechanische Schwingungen an das Ovale Fenster des Innenohrs weitergegeben. Wird die Schwingeneigenschaft aufgrund einer Verknöcherung der Steigbügelplatte eingeschränkt, sinkt somit das

¹³ Vgl. [OLSZEWSKA]: Weiterführende Informationen über Cholesteatomen, Entstehung und Behandlungsformen

Hörvermögen. Die Folge ist eine Schallleitungsschwerhörigkeit, die mit fortschreitendem Krankheitsverlauf zunimmt und in der vollkommenen Ertaubung enden kann. Zusätzlich kann die Otosklerose auch die Schnecke befallen, wodurch eine Empfindungsschwerhörigkeit entsteht. Begleitend können Symptome wie Schwindel und Tinnitus auftreten [BÖHME].

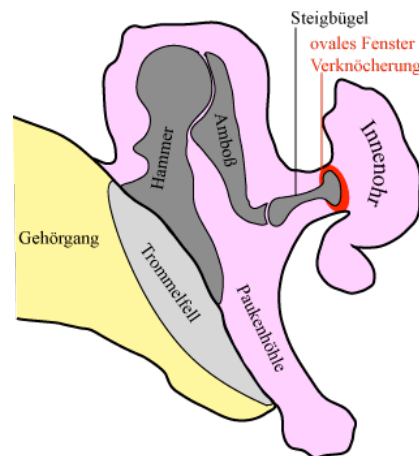


Abbildung 3.5: Mittelohr mit Verknöcherung am ovalen Fenster (Otosklerose) [WIKIPEDIA3]

Die Entstehung und der Krankheitsverlauf der Otosklerose sind bis heute nicht geklärt. Grundsätzlich ist das Knochenwachstum ein beständiger Prozess im Menschen, der auf das gesamte Skelett zutrifft, mit Ausnahme der Labyrinthkapsel. Daher wird eine Fehlfunktion derselben vermutet, wobei der Auslöser nicht bekannt ist. Bei 50-70% der Fälle ist die Erkrankung bereits in der Familie aufgetreten [MARKOU]. In verschiedenen Studien¹⁴ werden virale, genetische, immunologische und hormonelle Veränderung als Entstehungsursache erforscht, mit teilweise konträren Ergebnissen.

Die Otosklerose ist für 5-9% aller Hörschwächen verantwortlich, bezogen auf die Schallleitungsschwerhörigkeit sind es sogar 18-22%. Sie tritt mit 70-80% Wahrscheinlichkeit beidseitig auf und Frauen trifft es doppelt so oft wie Männer [MARKOU]. Außerdem gibt es auf die Herkunft bezogen einen großen Unterschied: Während 8,3% der weißen Bevölkerung an Otosklerose leiden, sind nur 1% der Farbigen betroffen [BÖHME]. Der Gehörschaden betrifft bei dieser Erkrankung nicht nur die Luftleitung, sondern häufig auch die Knochenleitung. In Abbildung 3.6 ist deutlich zu erkennen, dass sich das Schallleitungsempfinden um 20 bis 40 dB verringert. Außerdem ist eine Senke um 2 kHz zu sehen – die sogenannte Carhart-Senke –, bei der die Gehörknöchelchen ihre Resonanzfrequenz besitzen. Durch die Versteifung können sie nicht mehr frei schwingen und es kommt zu dieser charakteristischen Knochenleitungskurve.

¹⁴ Vgl. [ARNOLD1, GRAYELI, MARKOU]

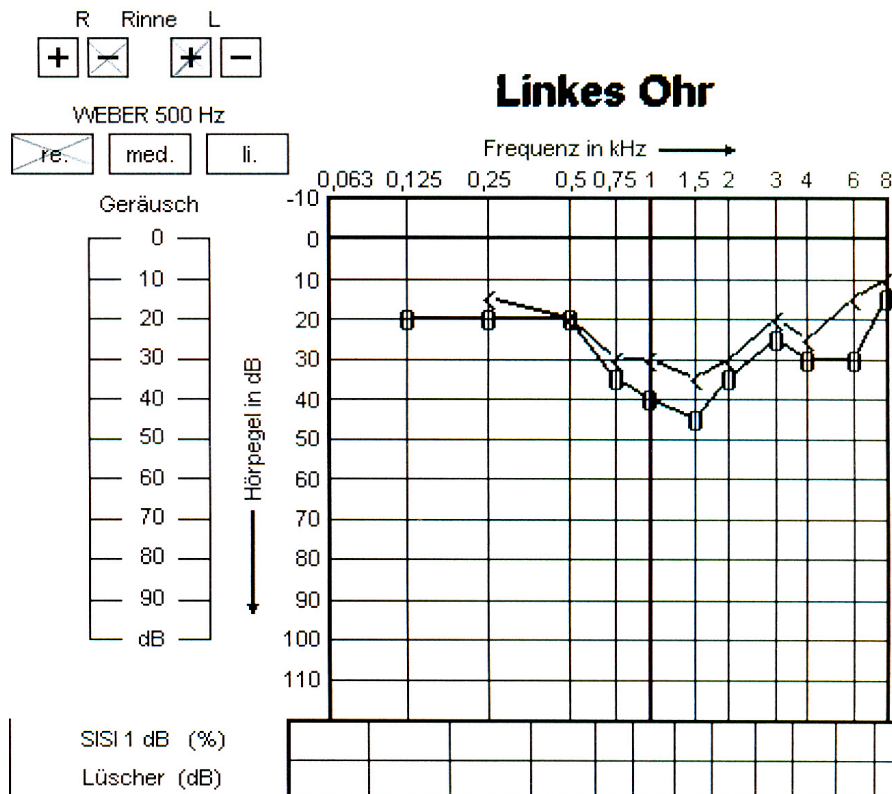


Abbildung 3.6: Audiogramm einer an Otosklerose erkrankten Patientin (Luftleitung 0, Knochenleitung $<$) [WIKIPEDIA4]

Um die Schalleitungsschwerhörigkeit zu beheben, muss ein operativer Eingriff erfolgen (Stapeschirurgie¹⁵). Ziel ist es, den verknöcherten Steigbügel durch eine Prothese auszutauschen. Dadurch ändert sich nur wenig am Aufbau des Mittelohrs und im günstigsten Fall ist eine vollständige Wiedererlangung des Hörvermögens möglich. Je weniger entfernt werden muss, desto weniger wird das Gehör traumatisiert. Dadurch verringern sich auch die Folgeschäden, die unter anderem eine erneute Schalleitungs- oder Schallempfindungsschwerhörigkeit, Gleichgewichtsstörung und Tinnitusentstehung sein können [BÖHME]. Aufgrund der Stapeschirurgie können laut Gersdorff¹⁶ die präoperativen Tinnitusbeschwerden, die bei 8% aller Otosklerososepatienten bestehen, zu 80% verbessert werden oder verschwinden. Nur 6% der Betroffenen beschweren sich über eine Zunahme.

¹⁵ Vgl. [SCHIMANSKI]

¹⁶ Vgl. [GERSDORFF]

3.2 Schallempfindungsschwerhörigkeit

Unter Schallempfindungsschwerhörigkeit werden alle Hörschäden aufgelistet, die durch einen Schaden oder eine Fehlfunktion des Innenohrs oder des Hörnervs entstehen. Da sowohl das Innenohr als auch die neuronale Ebene des Gehörs sehr komplexe Mechanismen sind, werfen die Krankheitsursachen und die Behandlungsmöglichkeiten nach wie vor viele Fragen auf. Mit wenigen Ausnahmen sind Schallempfindungshörschäden stets irreversibel, wobei die vorgeschlagenen Therapien oft nicht den Hörschaden selber beheben können, sondern dem Patienten das Leben mit dem Hörschaden erleichtern sollen.

3.2.1 Morbus Menière

| | |
|---------------------------|--|
| Art des Schadens | Fehlfunktion der Endolymphregulation im Innenohr |
| typische Beschwerden | Hörminderung bis zur völligen Ertaubung, Drehschwindel, Tinnitus |
| Häufigkeit des Auftretens | 0,008-0,513% der europäischen Bevölkerung mittleren Alters |
| Behandlungsmöglichkeiten | Linderung der Symptome, Hörschaden irreversibel |

Der Morbus Menière (M. Menière) ist eine Erkrankung des Innenohrs, die sowohl das Hörvermögen wie auch den Gleichgewichtssinn negativ beeinflusst und nachhaltig zerstören kann. Die auftretenden Symptome sind Drehschwindelanfälle, veränderliche Schallempfindungsschwerhörigkeit und Ohrgeräusche. Der Krankheitsverlauf durchläuft drei Stadien, an dessen Schluss das komplette Versagen des Hörorgans steht [BAIER].

Im ersten Stadium der Krankheit sind Menière-Anfälle typisch, bei denen sich die betroffene Person über eine Verschlechterung des Hörvermögens besonders zu tiefen Frequenzen hin und teilweise auch über Drehschwindel beschwert. Zwar kann sich das Gehör im Anschluss zunächst wieder normalisieren, mit jedem weiteren Anfall aber wächst die Wahrscheinlichkeit eines bleibenden Hörschadens [BAIER]. Der Hörschaden tritt am stärksten im Mitteltonbereich um 500 Hz auf. Zusätzlich können Ohrgeräusche entstehen, die im Laufe der Krankheit zunehmen und zu Schwindelattacken aufgrund von körperlicher Anstrengung oder Luftdruckänderung führen können [HAVIA1]. Im zweiten Stadium sind die Anfälle immer von Schwindel begleitet. Der Hörverlust beläuft sich auf 50-60 dB und bleibt in der Regel konstant. Eine weitere Verschlechterung führt zum ausgebrannten Morbus Menière und bedeutet die Zerstörung des Hörorgans. Dadurch nehmen die Schwindelattacken ein Ende, dies bedeutet aber auch den Verlust des Hörvermögens.

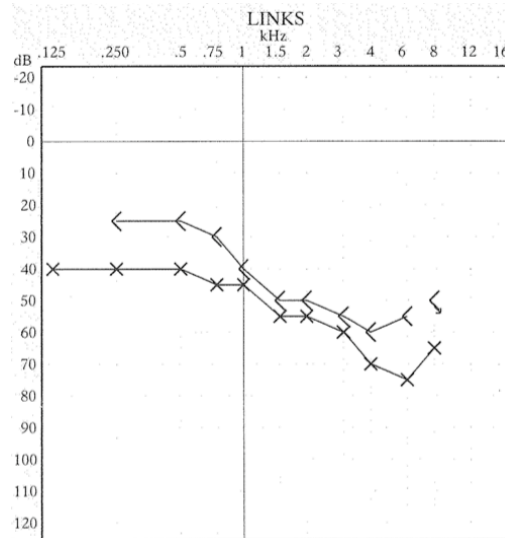


Abbildung 3.7: Audiogramm eines Menière-Patienten im 2. Stadium mit Hörminderung zwischen 40-70 dB (Luftleitung X, Knochenleitung <)

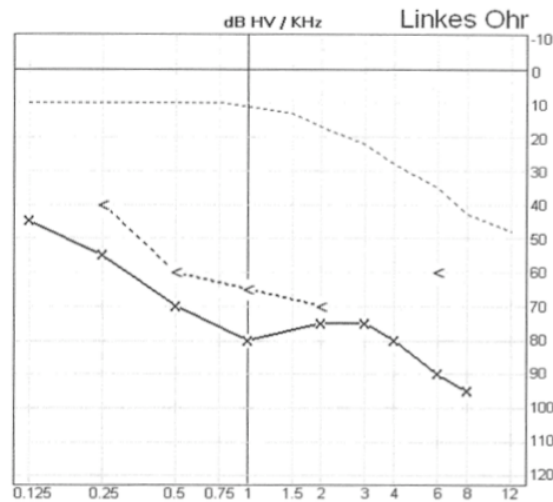


Abbildung 3.8: Audiogramm desselben Menière-Patienten mit ausgebranntem Menière. Der Hörverlust liegt zwischen 50 und 100 dB (Luftleitung X, Knochenleitung <)

Die Ursache für den Hörschaden liegt an einer Fehlfunktion der Endolymphregulation im Innenohr, dem so genannten endolymphatischen Hydrops. Die Folge ist eine Überproduktion oder Stauung der Endolymph in der Schnecke (siehe Abbildung 3.9). Es entsteht ein Druck auf das cortische Organ und auf die Reissner-Membran, die die unterschiedlich geladene Endolymph von der Perilymphe trennt. Es wird daher vermutet, dass der Druck auf das Hörorgan die Ursache für einen starken tieffrequenten Tinnitus ist und das Hörvermögen abschwächt. Dafür sprechen Untersuchungen an Patienten im Spätstadium, deren Haarzellen in diesem Bereich stark beschädigt waren. Kommt es zum Riss in der Reissner-Membran, so vermischen sich die unterschiedlich geladenen Flüssigkeiten. Dadurch werden zum Gehirn führende Nervenzellen plötzlich depolarisiert und können im Anschluss nicht mehr repolarisiert werden. Man spricht von einem Menière-Anfall, der einen zunächst reversiblen Hörschaden mit sich zieht. Jede erneute Ruptur der Reissner-Membran belastet das Innenohr erneut, wodurch – insbesondere bei chronischem Hydrops – ein anhaltender Hörschaden entsteht [BAIER].

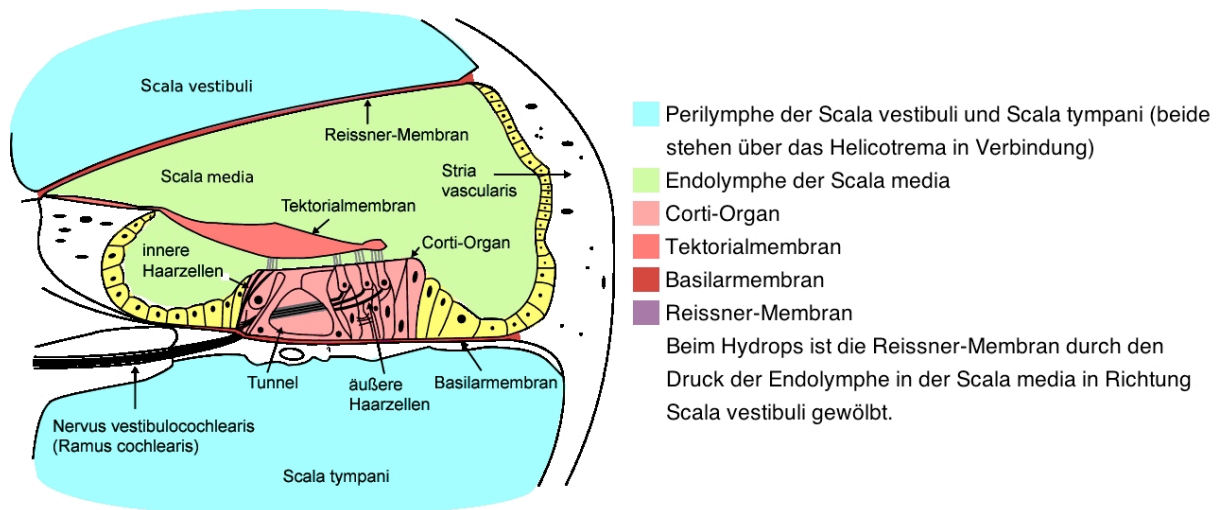


Abbildung 3.9: schematischer Aufbau der Hörschnecke [WIKIPEDIA5]

Der Auslöser des endolympathischen Hydrops ist bis heute unbekannt. In verschiedenen Studien¹⁷ werden Zusammenhänge von Viren, Allergien, Autoimmunreaktionen, entzündlichen Prozessen, Vererbung, Migräne, Otosklerose und Tumoren mit Morbus Menière diskutiert. Außerdem kann die Krankheit aus psychischer Sicht als Reaktion auf Stress entstehen, der durch exogene Faktoren wie z.B. Lärm¹⁸ hervorgerufen werden kann. Das Innenohr kann Stresshormone wie Adrenalin registrieren und teilweise von diesen beeinflusst werden. Interessant ist, dass viele Menière-Patienten tatsächlich „Stress“ als einen Auslöser der Anfälle angeben [HORNER1]¹⁹.

Verschiedene Studien berichten über die Verbreitung der Krankheit und kommen zu teilweise sehr unterschiedlichen Werten. HAVIA greift die Daten mehrerer Studien in ihrer Dissertation auf und kommt in Europa auf eine Verbreitungsspanne von 0,008% bis 0,513%. Der Beginn der Krankheit liegt meist zwischen 38-50 Jahren, wobei die Krankheit geringfügig öfter beim weiblichen Geschlecht vorkommt. Da die Ursachen der Krankheitsentstehung nach wie vor unklar sind, ist es schwer, eine Risikogruppe zu definieren. Da aber Stress als ein häufiger Auslöser genannt wird, scheinen besonders Personen, die unter Druck stehen, eher gefährdet zu sein, zumal Stresshormone auf viele Bereiche im Körper Einfluss haben, die selbst wieder zu Hörschaden führen können [HORNER2].

Die Behandlung des M. Menière beschränkt sich aufgrund der unbekanntenen Krankheitsursachen auf das Lindern der Symptome. Zwar gibt es operative Methoden, die teilweise Erfolge verzeichnen, jedoch auch hohe Raten einer anschließenden völligen Ertaubung aufweisen. Daher liegt das Hauptziel der Behandlung, die Schwindelattacken zu beheben, da sie eine stärkere Lebens Einschränkung für den Patienten darstellen als der Verlust des Hörvermögens²⁰. Gegen einen operativen Eingriff spricht zudem, dass in 94 % der Fälle der Schwindel

¹⁷ Vgl. [ARNOLD2], [BAIER], [DUNNEBIER], [PLONTKE]

¹⁸ siehe Kapitel 2.2

¹⁹ Vgl. [HORNER2]: Überblick über den Einfluss von Stress auf das Innenohr und die Folgen

²⁰ Vgl. [ARNOLD2], [BAIER], [PLONTKE], [WOLSCHOWITZ1]: Weiterführende Informationen zur Behandlung des M. Menière

und in 15 % der Fälle der Hörverlust sich spontan verbessert oder ganz verschwindet [ARNOLD2].

3.2.2 Hörsturz

| | |
|---------------------------|---|
| Art des Schadens | unbekannte Ursache |
| typische Beschwerden | plötzliche Hörminderung, Schwindel, Übelkeit, Tinnitus |
| Häufigkeit des Auftretens | 0,005-0,035% der Bevölkerung mittleren Alters (Deutschland) |
| Behandlungsmöglichkeiten | sehr häufig Spontanheilung, Anwendung von Medikamenten |

Eine plötzlich einsetzende Schallempfindungsschwerhörigkeit ohne erkennbarer Ursache wird als Hörsturz bezeichnet. Der Hörsturz selbst ist keine Krankheit, sondern ein Symptom mit unbekanntem Auslöser. Das bedeutet, jeglicher Hörverlust, der keiner bekannten Krankheit zugewiesen werden kann, wird als Hörsturz diagnostiziert. Die Hörminderung kann sich innerhalb weniger Sekunden einstellen, wobei sie in der Regel nach dem morgendlichen Erwachen festgestellt wird. Zusätzlich tritt in 60% der Fälle ein Tinnitus auf [GOEBEL1]. Außerdem beklagen sich Betroffene häufig über ein Druckgefühl am Ohr. In seltenen Fällen ist auch Schwindel und Übelkeit festzustellen. Das Gehör kann sich nach dem Hörsturz ganz oder teilweise wieder erholen, wobei sich insbesondere bei jüngeren Patienten eine bessere Regenerierung zeigt. Da es aber häufig nicht bei einem einzigen Hörsturz bleibt, besteht die Gefahr einer dauerhaften Hörminderung [PATSCHEKE].

Da der Hörsturz, wie bereits erwähnt, laut Definition ein Hörverlust von unbekannter Ursache ist, gibt es über dessen Auslöser nur Vermutungen. Aufgrund von Untersuchungen an verstorbenen Patienten besteht der Verdacht eines viralen Infekts im Innenohr. Es ist bekannt, dass Viruserkrankungen im Innenohr eine Hörminderung hervorrufen können. Daher besteht der Verdacht, dass unentdeckte Infekte zum Hörsturz führen. Eine weitere Annahme ist die der immunologischen Erkrankungen. Diese können die Haarzellen so schnell beschädigen, dass der Krankheitsverlauf und die Hörminderung der des Hörsturzes ähneln. Eine solche Erkrankung tritt aber an beiden Ohren auf, während beim Hörsturzpatienten fast immer nur ein Ohr vom Hörverlust betroffen ist. Ferner ist die Rede von vaskulären Erkrankungen. Damit sind mangelhafte Durchblutung, niedriger Blutdruck, erhöhte Blutfette, Gefäßverengungen und Infarkte im Innenohr gemeint. Bei Befragungen von Patienten wird häufig festgestellt, dass diese vor dem Auftreten des Hörsturzes nach eigenem Empfinden hoher Belastung und Stress ausgesetzt waren. Stress wirkt bekanntlich auf die Blutwerte des menschlichen Körpers und somit auch auf das Innenohr [PATSCHEKE]. In dem Artikel von GOEBEL²¹ werden besonders sozial engagierte Personen und solche, die einen Lehrerberuf ausüben als potentielle Hörsturzpatienten aufgezeigt. Diese stehen durch ihre Lebensführung häufig unter Stress, was sich dann als psychosomatischer Hörsturz äußern kann.

Der Hörsturz tritt in der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde häufig auf. In Deutschland liegen die jährlichen Neuerkrankungen bei 0,005-0,035% der Bevölkerung, wobei mit einer hohen Dun-

²¹ Vgl. [GOEBEL1]

kelziffer gerechnet wird. In 60% der Fälle tritt ein Hörsturz zwischen dem 30. und 60. Lebensjahr auf. Bis zu 40% der Betroffenen erleiden mindestens einen zweiten Hörsturz. Besonders stark betroffen sind akademische Berufe, wobei dabei die Lehrberufe verstärkt auftreten. In verschiedenen Studien wurde festgestellt, dass Hörsturzpazienten oft sensible, pflichtbewusste und aggressionsarme, aber auch nervöse und weniger selbstbewusste Personen sind. Sie haben nicht zwangsweise mehr Stress oder Belastung als andere Personengruppen, können diesen jedoch nicht so gut verarbeiten, was letztendlich zum Hörsturz führen kann [GOEBEL1].

Die Therapiemethoden ergeben sich aus den vermuteten Auslösern des Hörsturzes²². Somit gibt es Verfahren, um virale Infekte zu bekämpfen, Sinneszellen und Ganglienzellen so weit wie möglich zu regenerieren und die Durchblutung des Innenohrs zu fördern. Besonders die Anwendung von Steroiden zeigt eine signifikante Besserung der Höreigenschaften bei mittel bis schwerem Hörverlust. Dem gegenüber steht aber bei 28-68% der Fälle die Spontanheilung des Gehörs [HEIDEN].

3.2.3 Lärmbedingter Hörverlust

| | |
|---------------------------|---|
| Art des Schadens | Degenerierung des Innenohrs durch Schalleinfluss |
| typische Beschwerden | Hörminderung (bes. im Sprachbereich), Tinnitus |
| Häufigkeit des Auftretens | verantwortlich für 16% aller Hörschäden weltweit |
| Behandlungsmöglichkeiten | medikamentöse Behandlung nach akutem Schallereignis, Einsatz von Hörgeräten |

Der lärminduzierte Hörschaden ist ein Schallempfindungsverlust, der auf äußere Schalldrücke zurück zu führen ist. Jede Person, die sich lauten Pegeln aussetzt, sei es in der Arbeit oder in der Freizeit, ist der Gefahr eines solchen Hörschadens ausgesetzt. Damit sind besonders Industriearbeiter, Musiker, aber auch Diskothekenbesucher gefährdet, in deren Umfeld nicht selten Pegel über 100 dB(A) erreicht werden. Es handelt sich aus diesem Grund um die am häufigsten entschädigte Berufskrankheit [HOLSTEIN].

²² Vgl [MULLER], [SHEMIRANI]: Auflistung verschiedener aktueller und veralteter Behandlungsverfahren des Hörsturzes

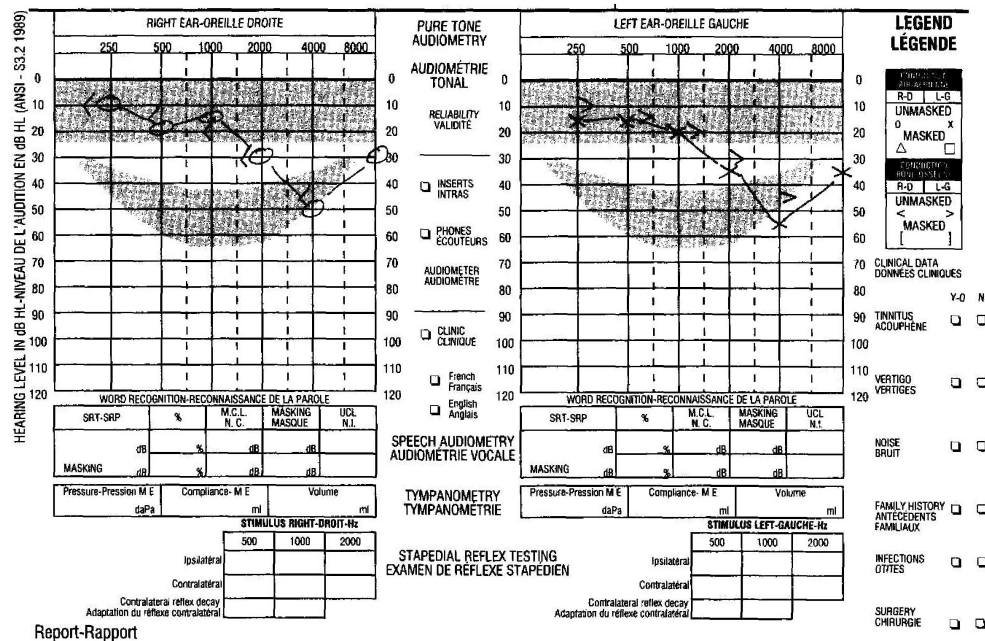


Abbildung 3.10: Audiogramm eines beidseitigen lärmbedingten Hörschadens: typische Senke bei 3-6 kHz [RUTKA, S. 18]

Der lärminduzierte Hörschaden zeigt sich im Audiogramm typischerweise als ein Verlust der Hörempfindlichkeit im Bereich der sogenannten C5-Senke (3-6 kHz). Er kann sich aber auch über das gesamte Hörspektrum erstrecken und somit besonders die Sprachkommunikation stark beeinträchtigen. Dies ist abhängig von der Schallquelle, der der Betroffene ausgesetzt war beziehungsweise ist. Zusätzlich entstehen häufig Ohrgeräusche, die auch als Hinweis einer Schallbelastung des Innenohrs gedeutet werden können. Sowohl die spektrale Zusammensetzung, als auch die Dauer und Intensität des Signals beeinflussen den Hörschaden im Innenohr. Ab Schallpegeln von 85-90 dB(A) beginnt die Degeneration des Cortischen Organs sowie der zur neuronalen Verarbeitung wichtigen Nervenfasern. Zu unterscheiden ist eine temporäre Verschiebung der Hörschwelle (TTS=temporarily threshold shift) von einer permanenten (PTS=permanent threshold shift). Während die TTS nach einer gewissen Ruhezeit vollständig verschwindet und eine reversible Hörminderung darstellt, ist die PTS eine dauerhafte Hörverschlechterung [BABISCH3].

Der Verursacher ist eine externe Schallquelle, die aufgrund ihres Pegels zu morphologischen Veränderungen im Innenohr führt. Schallpegel über 85 dB(A) beeinträchtigen den Stoffwechsel und den Ionenaustausch im Innenohr und reduzieren dort zudem den Sauerstoffgehalt und die Durchblutung. Dadurch können die Stereozilien der äußeren Haarzellen ihre Steifigkeit und damit ihre Empfindlichkeit verlieren. Zusätzlich können toxische Stoffe freigesetzt werden, die einen genetisch vorprogrammierten Zelltod im Innenohr hervorrufen, während die Haarzellen morphologisch intakt bleiben. Bei unbeschädigtem Gehör ist zunächst eine Verschiebung der Hörschwelle die Folge (TTS). Diese kann sich nach einer Ruhephase von mindestens 10 Stunden bei einem Schallpegel unter 70 dB(A) wieder normalisieren. Häufig kann eine vorübergehende Hörschwellenverschiebung auch auf den cochleären Verstärker zurückgeführt werden, der durch die äußeren Haarzellen gesteuert wird. Er beschränkt die Dynamik der eintreffenden Schallereignisse auf das Innenohr. Leise Signale werden dadurch verstärkt und laute Signale abgeschwächt. Passt sich der cochleäre Verstärker hohen Schallpegeln an, braucht es eine Ruhephase von teilweise mehreren Stunden, bis sich das Gehör wieder auf den Ruhepegel einstellt.

Wird das Gehör jedoch häufig lauten Pegeln ausgesetzt, ohne dass dem Innenohr eine Ruhephase zur Regenerierung gegeben wird, verklumpen und verkleben die Stereozilien der äußeren Haarzellen und können vollständig verkümmern (siehe Abbildung 3.11). Es entsteht ein bleibender Hörschaden (PTS). Wegen des nicht mehr funktionsfähigen cochleären Verstärkers wird der Schall unverstärkt an die weitaus weniger empfindlichen inneren Haarzellen übergeben. Dadurch ergibt sich eine Hörminderung von 50-70 dB²³ in den betroffenen Frequenzbereichen. Gleichzeitig können zu laute Schalleindrücke nicht mehr gedämpft werden, wodurch die Schmerzschwelle des Betroffenen sinkt (Hyperakusis). Der deutlich eingeschränkte Dynamikumfang nennt sich positives Recruitment und ist in der Regel ein Hinweis eines lärminduzierten Hörschadens [BABISCH3]. Ab Schallpegeln über 130 dB SPL wird das Cortische Organ so stark belastet, dass es zu irreversiblen Zellverlusten im Innenohr kommen kann, die einen sofortigen anhaltenden Hörschaden bewirken. Der Zelltod schreitet sogar nach der Beschallung weiter voran und verschlimmert so den Schaden [LAMM1].

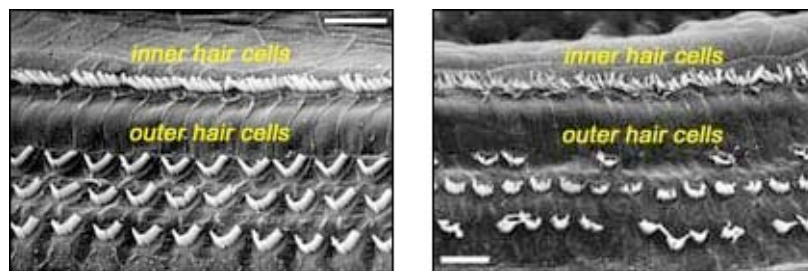


Abbildung 3.11: mikroskopische Aufnahme von Haarzellen: unbeschädigt (links) und beschädigt (rechts) [ENTUK]

Der verursachte temporäre oder permanente Hörschaden hängt von mehreren Faktoren ab. Die wichtigsten Größen sind der Schallpegel und die Expositionsdauer, die in Beziehung miteinander stehen. Bereits bekannt ist, dass Schallpegel ab 85 dB(A) zu einer Hörminderung führen können, die sich mit zunehmender Lautstärke vergrößert. Außerdem verschlechtert sich die Hörschwelle, je länger der Schall einwirkt. Verdoppelt sich die Schallintensität, so wirkt in der Hälfte der Zeit dieselbe Belastung auf das Gehör. Diese Beziehung zwischen Schallintensität und Expositionszeit nennt sich „energieäquivalenter Dauerschallpegel“²⁴ [HOLSTEIN]. Inwieweit der äquivalente Dauerschallpegel das Gehör beschädigt, hängt jedoch noch von der jeweiligen Empfindlichkeit des Einzelnen ab und kann nicht allgemeingültig festgestellt werden. Ferner spielt die Frequenzzusammensetzung der Schallquelle eine bedeutende Rolle. So bewirken breitbandige Geräusche eine Hörschwellenverschiebung im Bereich der C5-Senke. Schmalbandige Geräusche oder reine Sinustöne hingegen bewirken eine schmalbandige Hörminderung eine halbe bis ganze Oktave oberhalb der Anregungsfrequenz. Der Schaden ist bei schmalbandiger Beschallung größer, da sich die Energie auf weniger Haarzellen verteilt als bei breitbandigen Geräuschen.

Eine weitere Charakteristik ist die zeitliche Struktur des Schalls. So ist Dauerlärm zwischen 85 und 115 dB(A) schädlicher als Impuslärm, darüber hinaus aber stellt der Impuslärm eine deutlich stärkere Belastung für das Gehör dar. Besonders kurze Schalleindrücke unter 100 ms stellen ein großes Risiko dar. Diese werden leiser empfunden, da die zentrale Verarbeitung im Gehirn mindestens 100 ms benötigt, um eine korrekte Lautstärkeempfindung wiederzugeben. Dadurch kann sich unbemerkt ein schleichender Hörschaden einstellen. Die betroffenen Re-

²³ Vgl [HOLSTEIN, S. 16ff]: 1.4 Die Pathophysiologie des Innenorhs

²⁴ Vgl. Kapitel 2.1, Formel 2.1

gionen sind zusätzlich zur C5-Senke auch Frequenzen oberhalb 10 kHz, wobei im Vergleich zum energieäquivalenten Dauerlärm eine um 5 bis 12 dB stärkere Hörminderung entsteht [HOLSTEIN].

Verantwortlich für 16 % der Hörverluste weltweit ist der Arbeitslärm. Während in den Industrieländern Maßnahmen zur Verringerung dieser Art von Hörschaden getroffen werden, haben besonders die Entwicklungsländer immer noch hohe Quoten²⁵. Der große Zuwachs in weniger als 10 Jahren von 120 Millionen auf 250 Millionen hörgeschädigte Menschen weltweit ist vermutlich maßgeblich lärmbedingt. Ferner trifft es verstärkt die männliche Bevölkerung, da diese in der Regel häufiger und länger in ihrem Berufsleben lauten Arbeitsplätzen ausgesetzt sind. In Europa beklagen sich 28% der Arbeiter, dass sie bei mindestens einem Viertel ihrer Arbeitszeit Schallpegeln von 80 bis 90 dB(A) ausgesetzt sind [NELSON].

Besonders stark betroffen sind Arbeiter auf dem Bau, gefolgt von der verarbeitenden Industrie und dem Bergbau. Dort sind nicht selten Schallpegel von 90dB(A) bis hin zu 130 dB(A) vor zu finden. Es fällt deutlich auf, dass der Hörverlust berufsgruppenabhängig ist. So erleiden Industriearbeiter mehr als drei Mal so häufig lärmbedingte Hörverluste als Büroangestellte am Schreibtisch. In der Studie von HONG wurde bei 60% der befragten amerikanischen Bauarbeiter eine Hörminderung im Bereich der C5-Senke gefunden. Zusätzlich beklagen sich 38% über Ohrgeräusche und 62% über Verständnisschwierigkeiten bei lauter Umgebung. Ähnliche Werte wurden auch in Kanada und Europa aufgezeigt. Dort haben 50% der 35-39 jährigen und 90% der 55-59 jährigen Industriearbeiter eine Hörschwellenverschiebung von mehr als 30 dB bei 4 kHz. HONG stellt eine ähnliche progressive Abnahme der Hörfähigkeit fest, die mit der Expositionsdauer zusammenhängt. So leiden 30% der Arbeiter, die weniger als 5 Jahre der Beschallung ausgesetzt sind, an lärmbedingtem Hörverlust im Bereich zwischen 3-6 kHz. Wirkt hingegen der Arbeitslärm 40 Jahre ein, ist bei 100% der Arbeiter eine Hörminderung festzustellen. Unerklärlicherweise wird dabei das linke Ohr in der Regel stärker in Mitleidenschaft gezogen als das rechte [HONG].

Auch Musiker stellen eine hohe Risikogruppe von lärmbedingten Hörschäden dar²⁶. So wurden in verschiedenen Orchestern energieäquivalente Pegel von über 85 dB(A) gemessen²⁷, während auf Rockbühnen Pegel zwischen 100 und 115 dB(A) vorkommen, mit Spitzen bis zu 150 dB(A) [MAIA]. Daher wundert es nicht, dass in verschiedenen Studien²⁸ zwischen 31% bis 44% der getesteten Musiker eine lärmbedingte Hörminderung hatten. Tonmeister, Toningenieure und Tontechniker sind hiervon genauso betroffen, da sie häufig 10 Stunden lang einem Pegel zwischen 80 bis 90 dB(A) ausgesetzt sind [BULLA]. Eine signifikant schlechtere Hörschwelle wurde insbesondere bei nicht professionellen Musikern festgestellt. Aber auch schon bei jungen Musikstudenten ist oft eine hohe Schallbelastung des Innenohrs festzustellen, die sich in Form eines Tinnitus häufig bemerkbar macht [MILLER]. 48-79% der Musiker beschwerten sich über Hyperacusis und 39-63% über Tinnitusymptome²⁹. Zu den oben erwähn-

²⁵ Vgl. [NELSON]: Table I. Studies of noise exposures and hearing impairment in selected developing countries, S. 2-4

²⁶ Vgl. [HOLSTEIN]: Zusammenfassung mehrerer Studien über Hörschäden bei Musikern, S. 49-85

²⁷ Vgl. [AXELSSON], [ROYSTER]

²⁸ Vgl. [WESTMORE], [AXELSSON], [OSTRI], [KÄHÄRIT], [SCHMUZIGER]

²⁹ Vgl. [JANSEN], [MAIA], [MILLER]

ten Schallpegeln kommt für einen lärmbedingten Hörschaden erschwerend hinzu, dass die Gefahr von lauter Musik stark vernachlässigt wird. So sind Musikschafter häufig der Meinung, dass Musik keine Schäden hinterlassen kann und tragen beim Musizieren selten Gehörschutz. Es wird von einer hohen Dunkelziffer bei Musikern mit Hörminderung ausgegangen, da es bis heute im Musikerumfeld verpönt ist über Gehörschäden zu reden und die Angst vor einem „Outing“ gegenüber Kollegen und Arbeitgeber weiterhin besteht [TOPPILA].

Seit der Verbreitung des Walkmans und dem Zulauf zu Diskotheken in den 80er Jahren des vorherigen Jahrhunderts gilt der sogenannte Freizeitlärm als ein ernstzunehmender Verursacher lärmbedingter Hörschäden, besonders bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen. Es ist eine Zunahme von hörgeschädigten Jugendlichen im Laufe der letzten Jahre zu verzeichnen. Bei 10% der Jugendlichen wurde festgestellt, dass sie nur aufgrund ihrer Musikhörgewohnheit innerhalb von 10 Jahren eine Hörverschlechterung von 10 dB(A) bei Frequenzen um 3 kHz erleiden. Ferner beklagen sich 2/3 der Diskothekengänger nach einem Besuch über Ohrgeräusche und temporäre Hörschwellenverschiebung. Der Grund sind gemessene Mittelungspegel zwischen 89 und 111 dB(A) in Diskotheken und bei Kopfhörergebrauch bis zu 100 dB(A). Zusätzlich haben die Diskothekenbesuche unter jungen Erwachsenen stark zugenommen. Diese halten sich im Mittel 5 Stunden pro Woche in einer Diskothek auf. Bei Beschallung über Kopfhörer hängt die Belastung sehr von den Hörgewohnheiten ab. So stellen 50% der Jugendliche im Mittel den Pegel unter 80 dB(A) ein und vermeiden dadurch einen Schaden. Problematisch sind jedoch die 10%, die ihren Wunschpegel bei mindestens 100 dB(A) angeben. Eine aktuelle Studie über Hörverluste durch MP3-Spieler³⁰ bestätigt, dass Einstellpegel von 90 dB(A) und mehr nicht unüblich sind. Besonders bei männlichen Jugendlichen und solchen mit schlechteren Schulleistungen werden diese hohen Pegel gefunden³¹.

Außer der lauten Musikbeschallung durch Konzertbesuche, Diskotheken oder tragbare Abspielgeräte nehmen Spielzeuge mit hohen Schallpegeln, Feuerwerkskörper oder Schießlärm eine tragende Rolle im Freizeitlärm ein. Spielgeräte, wie beispielsweise Spielzeugpistolen oder Trompeten erreichen in unmittelbarer Nähe zum Ohr Schallpegel zwischen 125 und 173 dB(A)³². Da es sich meistens um Impulsschall handelt, wird das Gehör noch stärker in Mitleidenschaft gezogen.

Besonders gefährdet sind Jugendliche und junge Erwachsene, die täglichem Arbeitslärm ausgesetzt sind und in ihrer Freizeit das Gehör zusätzlich mit Freizeitlärm belasten. Die notwendige Erholungsphase nach einem Arbeitstag wird dadurch erheblich verkürzt und verstärkt dadurch den Hörverlustprozess. Sogar die mittlere Hörgewohnheit der Jugendlichen wirkt negativ, da sie über den 70 dB(A) liegt, die das Gehör in der Ruhephase nicht überschreiten darf [ZENNER1].

Eine Behandlung des lärmbedingten Hörverlustes bedarf es nur im Fall einer anhaltenden Hörschwellenverschiebung, da sich, wie bereits erwähnt, die temporäre während einer mehrstündigen Ruhephase vollständig zurückentwickelt. Das Ziel einer Therapie ist die weitestgehende Wiederherstellung der beschädigten Haarzellen. Dies ist nur dann möglich, wenn die Hörminderung durch ein akutes Schallereignis stattgefunden hat. Durch Dauerlärm verursachte Hörverluste können meistens nicht gelindert werden, sondern es wird dem Patienten ein

³⁰ VGL. [FARINA]

³¹ VGL. [ZENNER1]: Tabelle 8, S. 244

³² VGL. [ZENNER1]: Tabelle 1, S. 239

Hörgerät empfohlen. Anders als Vögel oder Fische ist der Mensch nicht in der Lage, Haarzellen mit körpereigenen Mitteln zu regenerieren oder gar zu ersetzen. So werden Medikamente eingesetzt, die der Durchblutung des Innenohrs dienen. Ferner scheinen entzündungshemmende Wirkstoffe gute Erfolge bei der Erholung der Haarzellen zu erzielen. Diese dämpfen die Entzündungen, die durch Zellschäden, Sauerstoffmangel und Blutunterversorgung entstehen, ein und bewirken in kurzer Zeit schon eine Hörbesserung [LAMM2]. Gegen den Sauerstoffmangel kommt die sogenannte Sauerstofftherapie zum Einsatz. Hierbei wird dem Patienten reiner Sauerstoff über die Atemwege zugeführt. Der Sauerstoffmangel des Innenohrs kann dadurch behoben werden, eine Verbesserung der Hörschwelle oder eine Regenerierung der Haarzellen erfolgt jedoch nicht. Die Sauerstofftherapie in Kombination mit entzündungshemmenden Mitteln erzielt zur Zeit die besten Ergebnisse [DANCER]. In Zukunft erhofft man sich aus der Gen- und Stammzellenforschung weitere Therapieverfahren, die im besten Fall den lärmbedingten Hörschaden vollkommen rückgängig machen können [DUAN].

3.2.4 Ototoxizität

| | |
|---------------------------|--|
| Art des Schadens | Degenerierung des Innenohrs durch ohrgiftige Substanzen |
| typische Beschwerden | hochfrequenter Tinnitus, Hörminderung, Gleichgewichtsstörung |
| Häufigkeit des Auftretens | keine genauen Angaben, sehr selten ein bleibender Hörschaden |
| Behandlungsmöglichkeiten | i.d.R regeneriert sich das Gehör selber, ohrgiftige Substanzen vermeiden |

Ototoxizität bedeutet wörtlich übersetzt „Ohrgiftigkeit“ und meint die vorübergehende Funktionsstörung, Degenerierung oder sogar völlige Zerstörung des Innenohrs durch Substanzen, die das cortische und das Gleichgewichtsorgan, sowie den Hörnerv angreifen. Mittlerweile sind über 130 Arzneimittel und chemische Stoffe bekannt, deren Einfluss ototoxisch auf den Körper wirkt. Da ototoxische Substanzen auch im Arbeitsumfeld auftreten, wird in der Europäischen Richtlinie zu Lärm³³ auch auf diese Gefahr hingewiesen.

Eine große Gefahrengruppe für das Hörorgan stellen die Aminoglykosid-Antibiotika dar, die beispielsweise bei Hirnhautentzündungen angewendet werden. Durch ihr Einwirken werden Stoffe im Innenohr produziert, die den Zelltod einleiten können. Dadurch werden die äußeren Haarzellen morphologisch irreversibel geschädigt. Folge ist ein hochfrequenter Tinnitus und eine Schwerhörigkeit im Hochtonbereich (4-8 kHz), die sich im Laufe der Zeit auf mittlere Frequenzen ausdehnen kann. Zusätzlich gibt es Gleichgewichtsbeschwerden. Denselben Hörverlust können auch Patienten erfahren, die platinhaltige Alkylanzien einnehmen. Diese Art von Medikamenten wird gegen Krebsgeschwüre eingesetzt, da sie wachstumshemmend wirken. Die Nebenwirkungen sind abermals der programmierte Zelltod und dadurch der Haarzellenverlust [RYBAK]. Meist nur vorübergehend schaden die so genannten Schleifendiuretika, die bei Herz-, Nierenkrankheiten und bei Bluthochdruck verabreicht werden. Die Nebenwirkung für das Ohr ist ein eingeschränkter Ionenaustausch und eine dadurch verursachte reversible Hörminderung mit begleitendem Ohrgeräusch. Unter den weltweit am häufigsten eingenommenen Medikamente befinden sich die Salicylate, deren bekanntester Vertreter „Aspirin“

³³ Vgl. [EG1]

ist. 11‰ der Patienten, die regelmäßig Salicylate einnehmen, leiden an einer dosisabhängigen Hörminderung, die reversibel ist. Der Hörschaden wird durch die Verringerung der Innenohrdurchblutung ausgelöst, in dessen Folge der cochleäre Verstärker geschwächt wird. Bei hoher Dosierung kann sich eine beidseitige symmetrische Hörminderung von bis zu 40-50 dB einstellen. Sie wird häufig durch einen Tinnitus angekündigt. Im Normalfall erholt sich das Gehör nach der letzten Medikamenteneinnahme innerhalb von zwei bis drei Tagen. Eine weitere ohrschädigende Substanz sind die Chininalkaloide, die in der Medizin unter anderem zur Behandlung von Malaria und Muskelkrämpfen eingesetzt werden. Chinin verringert die Durchblutung des Innenohrs und bewirkt dadurch einen vorübergehenden sehr hochfrequenten Hörverlust. In geringen Mengen ist Chinin auch in Getränken wie Bitter Lemon und Tonic Water enthalten.

Bei der Anwendung von Medikamenten, die ototoxische Folgen haben können, soll grundsätzlich die geringst mögliche Dosis für den kürzestmöglichen Zeitraum verabreicht werden. Ferner ist die Kombination von ototoxischen Substanzen immer zu vermeiden. Treten Symptome wie Tinnitus, Schwindel oder Hörverlust auf, sollte das verwendete Medikament so schnell wie möglich abgesetzt werden [WAGNER].

Die Gefahr von ototoxischen Stoffe, die in der Arbeitswelt zum Einsatz kommen, ist bis heute noch wenig erforscht. Eine Tabelle mit schädlichen Stoffen ist bei der deutschen Berufsgenossenschaft³⁴ zu finden. Da die Verwendung ohrschädigender Stoffe häufig in lauter Arbeitsumgebung stattfindet, kann der Einfluss dieser auf das Ohr nur schwer erforscht werden. Besonders auf die Metall- und Bauwirtschaft trifft dies zu. Aus Tierversuchen wird auf die gehörschädigende Belastung ototoxischer Gefahrenstoffe hingewiesen, die besonders im Zusammenspiel mit Lärmexposition den Hörschaden negativ beeinflussen können. Es gilt mittels Studien herauszufinden, ob mit den aktuellen Grenzwerten für Gefahrenstoffe die Gefahr einer Hörschädigung grundsätzlich ausgeschlossen ist [BGZ].

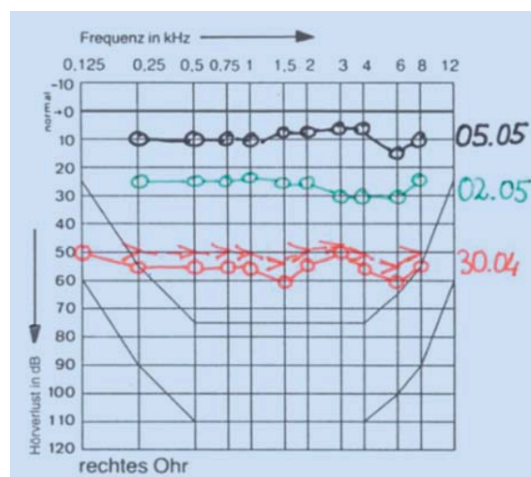


Abbildung 3.12: Audiogramm eines Patienten nach Verabreichung von Salicylate (rot). Regenerierung der Höreigenschaften binnen 2 (grün) bzw. 5 Tage (schwarz) [WECKER, S. 347]

³⁴ Vgl. [BGZ]: Tabelle S.1

3.2.5 Akustikusneurinom

| | |
|---------------------------|---|
| Art des Schadens | (gutartiger) Tumor am akustischen Nerv |
| typische Beschwerden | hochfrequente Hörminderung, Tinnitus, Gleichgewichtsstörung |
| Häufigkeit des Auftretens | sehr selten («1%»), häufiger bei Frauen mittleren Alters |
| Behandlungsmöglichkeiten | chirurgischer Eingriff, Bestrahlung des Tumors |

Das Akustikusneurinom ist ein in der Regel gutartiger Tumor, der sich im vestibulären Bereich des akustischen Nerven einnistet. Bedingt durch seine Lage entsteht zu Beginn meist ein hochfrequenter Hörverlust, der zusammen mit einem Tinnitus und Gleichgewichtsbeschwerden auftreten kann. Seltener treten Hörstürze und Menière-Beschwerden auf. Zu 95% tritt das Akustikusneurinom einseitig auf und vergrößert sich normalerweise nur langsam [SCHÖNROWSKI].

Als Ursache der Entstehung werden genetische Fehlfunktionen, laute Beschallung und ionisierende Bestrahlung vermutet. In der Studie von EDWARDS³⁵ wurde ein positiver Zusammenhang zwischen der Lärmexposition und der Entstehung eines Akustikusneurinoms festgestellt. Besonders Maschinen- und Baulärm sowie laute Musik scheinen seine Entwicklung zu fördern. Als Grund wird die Zerstörung von Zellstrukturen im Innenohr durch akustische Traumata vermutet. Im anschließenden Wiederherstellungsprozess der Zellen besteht die Gefahr fehlerhafter Mutationen der DNS, die sich als gutartigen Tumor manifestieren. Ionisierende Bestrahlung, wie sie in den Röntgenstrahlen vorkommt, ist ein bekannter Verursacher von gut- und bösartigen Zellmutationen. Unbekannt hingegen ist die Wirkung von elektromagnetischen Wellen, wie sie beispielsweise bei analogen und digitalen Schnurlostelefonen vorkommen. Besonders bei der Verwendung des Telefons am Ohr wirkt die Energie der Wellen auf den Kopf ein. Da diese Energie aber nicht zur Zerstörung von DNS ausreicht - sie also nicht-ionisierend ist, gelten Schnurlostelefone als unwahrscheinlicher Auslöser eines Tumors [CHRISTENSEN]. Im Bericht³⁶ der schwedischen Behörde für Strahlungsschutz werden verschiedene Studien über den Zusammenhang von Schnurlostelefonen und Krebsrisiko aufgelistet. Daraus ergibt sich nach jetzigem Stand, dass elektromagnetische Strahlen dieser Geräte kein Akustikusneurinom bewirken können. Es wird jedoch auf das Fehlen von Langzeitstudien über das Einwirken solcher Bestrahlung auf den menschlichen Körper hingewiesen.

Bei Akustikusneurinompatienten tritt in 10,2% der Fälle ein Hörsturz als Erstsymptom auf. Ein Viertel aller Patienten durchlaufen während der Erkrankung eine Phase mit Hörminderung. Wodurch der plötzliche Hörverlust ausgelöst wird, ist nicht bekannt. Vermutet wird einerseits, dass der Druck des Tumors auf den Hörnerv zu einer Reizleitungsblockade führt, die eine Hörminderung in den hohen und mittleren Frequenzen auslöst. Andererseits besteht die Möglichkeit der eingeschränkten Blutversorgung des Innenohrs, die dann einen Verlust zu den tiefen Frequenzen hin bewirkt. Dieser Fall ist jedoch nur selten vorzufinden ist. Ferner könnten biomechanische Veränderungen wie Membranrisse oder Entzündungen im Innenohr zu einem steilen Hörabfall führen [SAUNDERS].

³⁵ Vgl. [EDWARDS]

³⁶ Vgl. [BOICE]

Aufgrund der Korrelation lauter Beschallung und der Entstehung eines Akustikusneurinoms sind Personen in lauten Arbeitsumgebungen oder lauten Freizeitbeschäftigungen stärker gefährdet. In den letzten 20 Jahren gab es einen Anstieg von 1 auf 20 Fälle pro 100.000 Einwohner im Jahr. Frauen trifft es häufiger als Männer, wobei das übliche Alter für beide Geschlechter bei 50 plus liegt.

Die Behandlung eines Akustikusneurinom erfolgt entweder chirurgisch oder mittels Bestrahlung. Bedingt durch den langsamen Wachstumsvorgang kann die Operation lange hinausgezögert werden. Die operative Entfernung führt bei großen Tumoren zur vollständigen Zerstörung des betroffenen Innenohrs und ist daher nur als letzte Möglichkeit in Betracht zu ziehen [SCHÖNROWSKI].

3.2.6 Presbyakusis (Altersschwerhörigkeit)

| | |
|---------------------------|--|
| Art des Schadens | altersbedingter Hörverlust |
| typische Beschwerden | Hörminderung (mittlerer bis hoher Frequenzbereich), Tinnitus, vermindertes Sprachverständnis |
| Häufigkeit des Auftretens | 40% bei Personen ab dem 65. Lebensjahr |
| Behandlungsmöglichkeiten | Behebung des Schadens nicht möglich, Einsatz von Hörgeräten |

Die Altersschwerhörigkeit ist der häufigste Schallempfindungshörschaden und tritt mit einer Wahrscheinlichkeit von 40% bei Personen ab dem 65. Lebensjahr auf. Während die altersbedingte Degeneration des Gehörs als Hauptursache des Hörverlustes gilt, werden aber auch Faktoren wie Lärm, Bluthochdruck und Sauerstoffmangel zu den Auslösern gezählt, da besonders Bewohner der Industrieländer unter Altersschwerhörigkeit leiden.

Der altersbedingte Hörschaden zeigt sich in Form einer beidseitigen Hörminderung, die sich zunächst in den hohen Frequenzen manifestiert, mit zunehmendem Alter aber auch mittlere Frequenzen und dadurch den Sprachbereich beeinträchtigt. Die Folge ist besonders in lauter Umgebung ein vermindertes Sprachverständnis und Hörvermögen. Ferner nimmt das räumliche Hören ab und es kommen nicht selten Ohrgeräusche hinzu [MAZUREK].

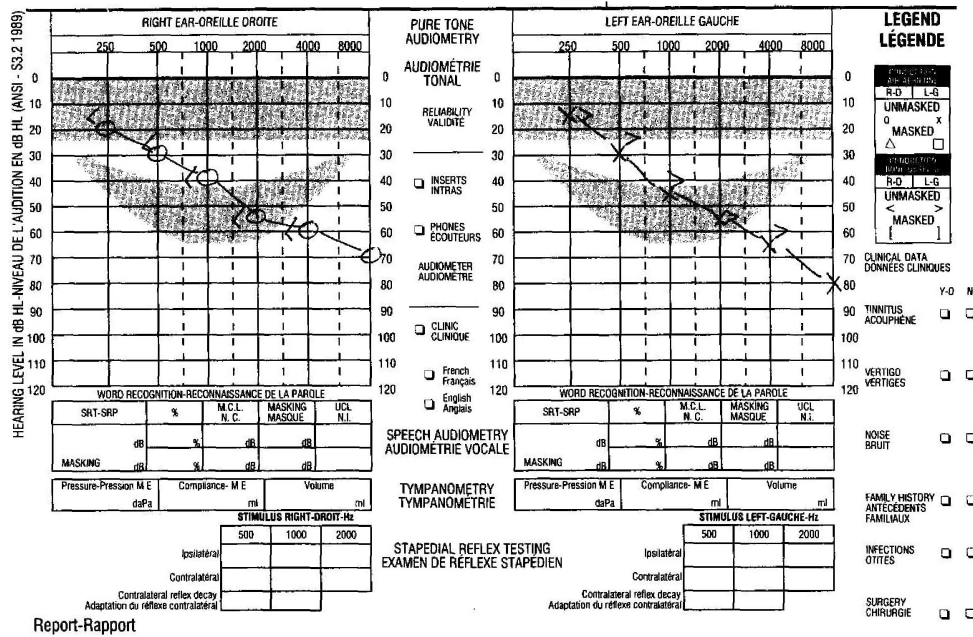


Abbildung 3.13: Audiogramm eines beidseitigen, altersbedingten Hörschadens [RUTKA, S. 19]

Für die Entstehung eines Hörschadens im Alter spielen verschiedene Faktoren eine Rolle. Altersbedingt kommt es zu Änderungen des Gewebes im Innenohr, zum Sauerstoffmangel und zur Blutunterversorgung, beispielsweise aufgrund von Arteriosklerose³⁷. Die Stria vascularis kann von der Gewebsänderung betroffen sein, wodurch das Endolymphpotential erheblich sinkt. Das im gesunden Gehör anliegende Spannungspotential von 80-90 mV löst bei den Haarzellen die Depolarisation und damit den Signalfuss in das Gehirn aus. Wird das Potential geringer, verschlechtert sich die Verstärkung des Innenohrs und daher auch das Hörvermögen. Der Sauerstoffmangel im Innenohr hat negativen Einfluss auf die äußeren und inneren Haarzellen und kann zu deren Absterben führen. Der Haarzellenverlust stellt nicht nur einen irreversiblen Hörschaden dar (siehe 3.2.3), sondern bewirkt meistens auch einen Tinnitus. Zusätzlich entstehen durch den veränderten Stoffwechsel in der Cochlea sogenannte freie Radikale, die zu ototoxischen Schäden führen. Ferner tritt der Alterungsprozess auch auf neuronaler Ebene auf: Die Übermittlung der Signalinformation über die Nervenbahnen verschlechtert sich und die Verarbeitung im Gehirn verlangsamt sich. Ein weiterer Effekt der Alterung kann die Versteifung der Basilarmembran darstellen: Die Wanderwelle im Innenohr, die zur Anregung der Haarzellen dient, wird gedämpft, weshalb von einem Innenohrschalleitungsschaden gesprochen wird. In den meisten Fällen der Altersschwerhörigkeit spielen jedoch die exogenen Faktoren eine maßgebliche Rolle. Die im Laufe der Jahre auf das Ohr einwirkenden Lärmquellen sowie die Einnahme von ototoxischen Substanzen – in der Regel durch Medikamente – tragen dabei die Hauptverantwortung für die Hörschwäche im Alter. Daher wundert es nicht, dass die Presbyakusis besonders in Industrieländern vorzufinden ist, wobei es sich dabei strenggenommen nicht um einen natürlichen Alterungsprozess handelt.

Eine Unterteilung der Presbyakusis wurde von SCHUKNECHT³⁸ vorgeschlagen, die vier verschiedene Typen aufweist: Die sensorische Presbyakusis (Haarzellendegeneration), die metabolische Presbyakusis (Gewebeschwund der Stria vascularis), die neuronale Presbyakusis

³⁷ Degeneration der Arterien

³⁸ Vgl. [SCHUKNECHT]

(degenerierte Nervenzellen) und die Innenohr-Schalleitungspresbyakusis (versteifte Basilar-membran). Das Außen- und Mittelohr werden nicht als Auslöser der Altersschwerhörigkeit gesehen, da der Alterungsprozess dort kaum festzustellen ist [GATES].

Hörschäden im Alter sind leider keine Seltenheit. So treten 80% aller Hörverlustsfälle bei älteren Menschen auf. Wie bereits erwähnt leiden 40% der über 65 jährigen an Hörminderungen und es gibt kaum Menschen über 70, die ein intaktes Gehör vorweisen können. Es handelt sich dabei nicht ausschließlich um eine Alterung des Gehörs, sondern es können auch Spätfolgen von früheren Hörbelastungen sein, die sich erst im Alter zeigen. Vergleichsstudien zwischen Stadtbewohnern und isolierten Volksgruppen, wie beispielsweise Eskimos, konnten aufzeigen, dass sowohl die Lärmexposition als auch die Überernährung Einfluss auf die Altersschwerhörigkeit haben. Genauere Daten über Anzahl und gefährdete Gruppen sind schwer zu erfassen, da ein rein durch den Alterungsprozess bedingter Hörschaden schwer von einem durch Lärm verursachten getrennt werden kann und im Alter das Zusammenspiel von exogenen Faktoren und altersbedingter Degeneration die Größe des Hörschadens ausmacht [MAZUREK].

Das Ziel der Behandlung der Presbyakusis bedeutet die Lebensqualität des Patienten zu steigern. Da eine Behebung des Hörschadens bis heute nicht möglich ist, liegt das Augenmerk auf der Verwendung von Hörgeräten und dem Umgang damit in der Gesellschaft, beispielsweise auch durch Lippenlesen und durch spezielles Hörtraining. Große Hoffnung wird auf eine zukünftige Gen- und Zelltherapie gesetzt [GATES].

3.3 Tinnitus

Jegliche Art von Ohr- bzw. Kopfgeräuschen, die nicht durch äußere Schallquellen erzeugt werden, werden als Tinnitus bezeichnet. Zumeist treten sie als Folge eines Hörschadens auf und werden daher als ein Symptom bezeichnet. Nur selten wird ein Ohrgeräusch als so störend empfunden, dass es als eigenständige Erkrankung bezeichnet werden kann. In der Regel handelt es sich um ein nicht messbares Geräusch, das nur von der betroffenen Person charakterisiert werden kann.

Die empfundenen Geräusche variieren von einzelnen Tönen bis hin zu breitem Rauschen, die in jedem Frequenzbereich auftreten können. Das bedeutet aber nicht zwangsläufig den Verlust des Hörvermögens in den betroffenen Bereichen, sondern dass diese Frequenzen lediglich von den Ohrgeräuschen je nach deren Lautstärke maskiert werden. Dadurch entsteht keine Funktionseinschränkung, sondern eine mehr oder weniger große Belastung für den Betroffenen. Bei chronischen Tinnitusbeschwerden wird daher von einem kompensierten Tinnitus gesprochen, wenn der Patient mit seinem Ohrgeräusch ohne große Beschwerden leben kann. Bei einigen chronischen Fällen geht von den Ohrgeräuschen eine so große Belastung auf den Patienten aus, dass psychische Nebeneffekte wie Depressionen, Angstzustände, Konzentrationsstörungen und Kommunikationsstörungen eintreten. Ein solches Krankheitsbild nennt sich dekompensierter Tinnitus und ist besonders für die Therapiewahl wichtig, da diese Belastung manchmal sogar Suizidgedanken auslösen kann [HARTMANN].

Auslöser eines Tinnitus können verschiedene Hörschäden sein (siehe Kapitel 3.1 und 3.2), wobei besonders bei Schallempfindungshörschäden der Tinnitus fast immer eine Begleiterscheinung ist. Während Ohrgeräusche bei Mittelohrentzündungen, Hörstürzen und Menièreanfällen meist akut auftreten, bilden sie sich bei lärmbedingten Hörminderungen, wie sie durch Knalltraumata und langjähriger Dauerbeschallung auftreten und bei Altersschwerhörigkeit zu chronischen Symptomen aus. Ohne jegliche Hörminderung können Ohrgeräusche unter anderem bei grippalen Infekten, Autoimmunerkrankungen oder auch aufgrund von Stress entstehen. Zusätzlich werden Einschränkungen in der Halswirbelsäule als Ursache für Ohrgeräusche vermutet. Es konnte festgestellt werden, dass durch Eingriffe an der Halswirbelsäule Ohrgeräusche entstehen können und umgekehrt viele Tinnituspatienten unter Bewegungseinschränkungen im Halsbereich und der sie umgebenden Muskelpartien leiden³⁹. Eine Liste von Krankheiten und Hörschäden, die zu Ohrgeräuschen führen können, hat HARTMANN in ihrer Dissertation zusammengestellt⁴⁰.

Zur Klassifizierung des Tinnitus schlägt ZENNER⁴¹ ein Modell vor, das die Ohrgeräusche in zwei Hauptgruppen unterteilt: die objektiv und die subjektiv feststellbaren Ohrgeräusche. Ein objektiver Tinnitus ist im Gehörgang mit Hilfe eines Mikrofons zu messen, ist aber in den seltensten Fällen vorzufinden. Sehr viel häufiger ist der subjektive Tinnitus, der nur vom Patienten wahrgenommen wird und durch ihn charakterisiert werden kann. Die Entstehungsart von subjektiven Ohrgeräuschen ist abhängig vom Ort im Hörsystem und kann in drei Gruppen aufgeteilt werden (siehe Abbildung 3.14).

³⁹ Vgl. [REIBHAUER, MATHISKE-SCHMIDT]: Weiterführende Informationen über den Zusammenhang zwischen HWS und Tinnitus

⁴⁰ Vgl. [HARTMANN]: Tabelle 2.4-1

⁴¹ Vgl. [ZENNER2], [ZENNER3]

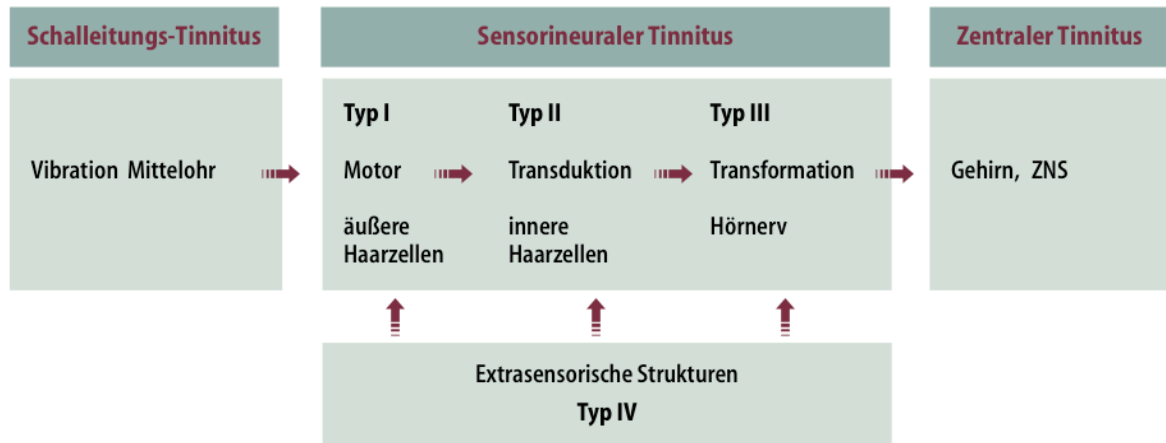


Abbildung 3.14: Unterteilung des subjektiven Tinnitus nach seinem Entstehungsort [ZENNER2, S. 701]

Zur ersten Gruppe, die als „Schalleitungstinnitus“ bezeichnet wird, gehören Ohrgeräusche, deren Entstehungsorte im Bereich des Mittelohrs liegen und dort beispielsweise durch Vibrationen hervorgerufen werden.

Die zweite Gruppe („Sensorineuraler Tinnitus“) fasst alle Geräuschgenerierungen zusammen, die im Innenohr ihren Ursprung haben. Die Ursache der Geräusche ist auf verschiedene Fehlfunktionen im Innenohr zurückzuführen. Geschädigte äußere Haarzellen, wie sie nach Lärmtraumata auftreten, können anfangen sich eigenständig zu bewegen und somit nichtvorhandene Informationen erzeugen und an das zentrale Hörsystem weitergeben (Typ I). Da die äußeren Haarzellen auch vom Gehirn durch efferente⁴² Hörnerven geregelt werden, sind auch dadurch Fehlfunktionen möglich, die zu einem Tinnitus führen. Ähnliches geschieht bei abgeschlaferten inneren Haarzellen, die durch ihre unkontrollierten Bewegungen Signale erzeugen können. Die inneren Haarzellen werden bei intaktem Gehör je nach vorliegendem Schalleinfluss erregt und anschließend wieder abgeregt. Kommt es zu einer ständigen Erregung – der sogenannten Dauerdepolarisation der inneren Haarzellen – wird dem Gehirn ununterbrochen ein Signal übermittelt, das tatsächlich aber nicht vorhanden ist. Diese fehlerhafte Übertragung der Haarzellen in elektrische Impulse nennt sich Transduktionstinnitus (Typ II). Der Transformations-Tinnitus (Typ III) tritt beim Übergang der Haarzellen zu den afferenten⁴² Hörnerven auf. Die Übertragung findet mittels Botenstoffen statt. Kommt es zu einem Überschuss an Botenstoffen seitens der Sinneszellen, dringen Ionen in den Hörnerv ein und führen dort zu schwerer Schädigung. Zusätzlich wird das Aktionspotential der Nervenzellen verändert. Diese Änderung wird von der betroffenen Person als Ohrgeräusch wahrgenommen. Ferner können Schwellungen der afferenten Nervenfaser oder auch ein Akustikusneurinom (siehe Kapitel 3.2.5) einen solchen Tinnitus auslösen. Der Tinnitus Typ IV heißt extrasensorischer Tinnitus und beinhaltet jegliche Störungen von Funktionen, die außerhalb des sensorischen Bereichs des Innenohrs liegen. Damit ist beispielsweise die Stria vascularis gemeint, die für die Regulierung der Endolymphflüssigkeit zuständig ist. Kommt es zu einer Beeinträchtigung der Funktion, beispielsweise mangels Durchblutung, können Ohrgeräusche entstehen.

Zur dritten Gruppe gehören Ohrgeräusche, die im Gehirn und im Zentralen Nervensystem erzeugt werden, weshalb sie als „zentraler Tinnitus“ bezeichnet werden. Nach dem Modell von ZENNER muss zwischen einem primär-zentralen und einem sekundär-zentralen Tinnitus un-

⁴² efferent: vom Zentralnervensystem weg / afferent: zum Zentralnervensystem hin

terschieden werden. Erster wird direkt im Gehirn generiert und tritt aufgrund eines Tumors, Multipler Sklerose oder einer schlimmeren Kopfverletzung auf. Die zweite Variante ist sehr viel häufiger: Die Entstehung basiert auf einem Tinnitus, der aus dem Mittel- oder Innenohr an das Gehirn geleitet wird. Aufgrund von Fehlfunktionen im Gehirn kann sich dieser Tinnitus im zentralen Nervensystem verselbstständigen. Es entsteht eine sogenannte Feedbackschleife. Mit anderen Worten heißt das, wenn der ursprüngliche Tinnitus verschwindet, wird im Gehirn weiterhin die Information desselben generiert. In Anlehnung an den Phantom Schmerz bei Amputationen wird von einem Phantom-Tinnitus gesprochen.

Der Tinnitus ist bei mehr als der Hälfte der Bevölkerung ein bekanntes Symptom und tritt bei beiden Geschlechtern mit derselben Wahrscheinlichkeit auf, wobei Frauen aber stärker unter den Folgen leiden. 60% der Ohrgeräusche treten einseitig auf und mit einer höheren Tendenz zum linken Ohr hin. Es herrscht keine Korrelation zwischen sozialer Schicht und Häufigkeit der Ausbildung eines Ohrgeräusches. Laut einer umfassenden Studie im Auftrag der „Deutschen Tinnitus Liga“ haben 25% der Bevölkerung in Deutschland mindestens einmal im Leben einen Tinnitus, 13% werden einmal pro Jahr von Ohrgeräuschen geplagt und 3,5% haben einen chronischen Tinnitus. Während die höchste Wahrscheinlichkeit einer Entstehung um das 65. Lebensjahr herum liegt, leiden bereits 12% der unter 30jährigen bzw. 5% der 18-25 jährigen an dem Symptom. Die Beschwerden können in drei verschiedene Lautheitsgrade eingeteilt werden. Grad 1 besagt, dass der Tinnitus nur bei Stille wahrgenommen wird, was bei 37% der Betroffenen zutrifft. Grad 2 tritt mit 44% auf und bedeutet Geräusche, die auch bei leiser Umgebung hörbar sind, durch normalen Lärm aber maskiert werden können. 17% der Fälle hören auch bei stärksten Maskierern ihren Tinnitus (Grad 3). In der Regel bleibt die Lautstärke über die Jahre konstant, wobei dies keine Aussage über die empfundene Lästigkeit bedeutet [GOEBEL2].

Die Behandlungsform eines Tinnitus hängt von seiner Entstehung und seiner Dauer ab. Handelt es sich um einen objektiven Tinnitus, so muss die Geräuschquelle identifiziert werden und mit geeigneter medizinischer Behandlung entfernt werden. Ein akuter subjektiver Tinnitus muss abhängig von seinen auslösenden Faktoren behandelt werden. Liegt der Grund beim Hörschaden, gilt es diesen so weit es geht zu beheben. Ist Stress der Auslöser, müssen die Stressfaktoren gefunden werden und behandelt werden. Bei Verdacht der Halswirbelsäure als Ursache kann eine Manualtherapie Erfolge aufweisen. Handelt es sich um eine chronische Erkrankung, so gilt es den Umgang mit dieser zu trainieren und gegebenenfalls den Tinnitus mit Hilfe eines Maskierers zu überdecken [GOEBEL2].

4 Schutzmaßnahmen

Der Schutz vor Hörschäden ist ein Thema, das in den letzten Jahren innerhalb der europäischen Union zunehmend an Bedeutung gewonnen hat. Während bei einigen der in Kapitel 3 beschriebenen Hörschäden der Auslöser bis heute nicht exakt bestimmbar ist, ist insbesondere der lärmbedingte Hörschaden sehr wohl auf zu hohe und andauernde Beschallung zurückzuführen. Da es sich dabei um eine der häufigsten Berufserkrankungen handelt, scheint eine gesetzliche Schutzregelung sinnvoll zu sein, die nicht nur für den Arbeitsalltag gilt, sondern auch in der Freizeit und Ruhezeit zu einer geringen Schallbelastung führen soll. Nicht immer ist es möglich, die Schallpegel auf ein Maß zu reduzieren, das dem Gehör nicht schadet. Dann müssen Schutzeinrichtungen zum Einsatz kommen, die eine Pegelabsenkung am Ohr des Anwenders bewirken. In Kapitel 4.2 werden verschiedene Gehörschützer vorgestellt, die je nach Lärmsituationen in Frage kommen und Verwendung finden.

4.1 Gesetzliche Maßnahmen und Empfehlungen

Gesetzliche Maßnahmen zur Lärmreduktion sollen den Menschen in Alltagssituationen vor gesundheitsschädlichen Schalleinflüssen schützen. In der Regel werden diese Maßnahmen durch die europäische Union in Form von Richtlinien erlassen, die in den jeweiligen Mitgliedsstaaten in nationales Recht umgesetzt werden müssen. Zusätzlich gibt es noch Empfehlungen und Normen verschiedener Gremien und Arbeitsgemeinschaften, die exaktere Grenzwerte oder Vorgehensweisen beschreiben, die dann teilweise in bindende Richtlinien einfließen.

4.1.1 Gesetzliche Maßnahmen und Empfehlungen bei Arbeitslärm

Als gesetzliche Grundlage für Schutz vor Lärm am Arbeitsplatz dient in der EU die Richtlinie 2003/10/EG, die eine Erweiterung der Richtlinie 86/188/EWG darstellt. Erstgenannte beinhaltet nicht nur die Grenzwerte, die in Kapitel 2.1 (S. 13) erläutert werden, sondern regelt auch die Pflichten des Arbeitgebers seinen Angestellten gegenüber. Der Arbeitgeber hat die Pflicht, den Arbeitnehmer vor Lärm zu schützen und gegebenenfalls diesen mit ausreichenden Schutzeinrichtungen auszustatten. Um die Lärmgefährdung ermitteln zu können, müssen regelmäßig Messungen an Lärm Arbeitsplätzen durchgeführt werden. Es muss sowohl der Tages-

Expositionspegel wie auch der Spitzenschalldruck nach der internationalen Norm ISO 1999:1990 aufgenommen und mit den gesetzlichen Grenzwerten verglichen werden. Der Arbeitgeber ist verpflichtet, für jeden Arbeitnehmer eine individuelle Risikoanalyse durchzuführen. Dazu gehören auch die erhöhte Unfallgefahr aufgrund schlecht wahrzunehmender Warnsignale sowie eine zusätzliche gehörschädigende Belastung durch ototoxische Mittel.

Grundsätzlich ist der Arbeitgeber dazu angehalten, die Lärmbelastung am Arbeitsplatz so gering wie möglich zu halten. Daher sollen bei schädigenden Pegelwerten alternative Arbeitsverfahren und -mittel gesucht und geprüft werden, die Expositionsdauer des Einzelnen herabgesetzt und Ruhephasen eingeführt werden. Wünschenswert ist die Pegelminderung direkt an der Schallquelle durch Kapselung oder durch den Einsatz von schallabsorbierenden Materialien, was häufig aber nicht umsetzbar ist. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Schall auf dem Übertragungsweg zwischen Quelle und Empfänger mit Hilfe baulicher Maßnahmen zu dämmen. Falls auch diese Maßnahmen nicht zu einer Reduktion des Schalls auf Pegelwerte unterhalb der gesetzlichen Grenze führen, muss der Arbeitgeber für persönlichen Gehörschutz sorgen. Bereits beim Überschreiten des unteren Auslöswertes, der einem 8-stündigen energieäquivalentem Dauerschallpegel von 80 dB(A) entspricht, wird ein Gehörschutz empfohlen. Ab 85 dB(A) Dauerschallpegel muss der Arbeitgeber für das Tragen und die korrekte Anwendung der Schutzeinrichtung sorgen (siehe Kapitel 4.2). Diese muss so ausgelegt sein, dass sie den Schall unter den Tages-Expositionsgrenzwert von 87 dB(A) absenkt. Ferner müssen Lärmbereiche für die Arbeiter als solche gekennzeichnet sein und wenn möglich vermieden werden.

Gefährdete Arbeitnehmer müssen vom Arbeitgeber über die Gefahr des Lärms aufgeklärt werden. Dazu gehören Informationen über die Expositionsgrenzwerte und Spitzenpegel, sowie die ergriffenen Maßnahmen zur Dämmung des Pegels und die sichere und korrekte Verwendung des Gehörschutzes. Außerdem muss das frühzeitige Erkennen von Gehörschäden vermittelt werden, damit ein einsetzender Hörabfall so früh wie möglich behandelt werden kann. Das Recht der Gesundheitsüberwachung steht jedem Arbeiter zu, der schädigenden Schallpegeln ausgesetzt ist. Dazu gehören regelmäßige Audiogramme des Gehörs, die eine Frühdiagnose bei Hörverlusten ermöglichen. Wird ein solcher erkannt, muss der Arbeitgeber erneut Messungen am Arbeitsplatz des Betroffenen durchführen und gegebenenfalls Maßnahmen zur Pegelreduktion treffen [EG1][ASchG].

Die Umsetzung der europäischen Richtlinie 2003/10/EG auf das österreichische Recht erfolgt durch die „Verordnung Lärm und Vibration“ [VOLV]. Sie stellt eine Erweiterung der europäischen Richtlinie dar unter Berücksichtigung der bereits gültigen nationalen Rechtslage. So verlangt die Verordnung bei der Ermittlung und Beurteilung der Arbeitsplatzgeräusche nicht nur den energieäquivalenten Dauerschallpegel, sondern auch die Frequenzzusammensetzung des Geräuschs, das Ausmaß und die Dauer der Exposition. Besonders zu Bewerten ist zusätzlich auch impulshafter Schall, der bei hohen Pegeln schneller zu einem Hörschaden führen kann (siehe Kapitel 3.2.3). Zudem ist der zulässige 8h-Expositionsgrenzwert auf 85 dB(A) beschränkt, während der Auslösewert bei 80 dB(A) liegt.

Anders als die europäische Richtlinie gibt es in Österreich auch Grenzwerte für Räume, in denen Personen keinem gehörschädigenden Lärm ausgesetzt sind. In Räumen, in denen geistige Tätigkeiten zu bewerkstelligen sind, darf der Beurteilungspegel von 50 dB(A) nicht überschritten werden. Dasselbe gilt für Aufenthalts- und Bereitschaftsräume sowie Sanitäts- und Wohnräume. Für einfache Bürotätigkeiten und Ähnlichem sind Beurteilungspegelwerte bis 65 dB(A) erlaubt. Die Grenzwerte müssen dabei ohne Verwendung eines Gehörschutzes unterschritten werden. Um dies zu erreichen, müssen jegliche Umgebungsgeräusche, wie bei-

spielsweise Nachbarschaftslärm oder Verkehrslärm, verringert werden. Raumakustische Maßnahmen sind laut Gesetz nur dann verpflichtend, wenn zum Einen ein Lärmgutachten vorliegt, das ein Überschreiten der Grenzwerte aufweist, zum Anderen die Möglichkeit der Lärmdämmung an der Schallquelle nicht gegeben ist und eine Pegelreduktion von mindestens 3 dB aufgrund der raumakustischen Maßnahmen zu erwarten ist. Der Nachteil von schalldämmenden Vorkehrungen in Räumen sind die Kosten, die besonders bei nachträglichem Umbau sehr hoch ausfallen können [BMAASK].

Speziell für den Musik- und Unterhaltungssektor hat das österreichische Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit einen Leitfadens für die Umsetzung der gesetzlichen Vorschriften verfasst [BMWVA]. Die Notwendigkeit dieses Leitfadens liegt an den besonderen Arbeitsbedingungen, die in diesem Sektor vorherrschen. Betroffen sind davon nicht nur die Künstler, zu denen unter anderem die Musiker, Discjockeys, Dirigenten und Entertainer gehören, sondern auch das Bedien- und Servicepersonal, sowie die Techniker und die Sicherheitskräfte am Veranstaltungsort. Die Schwierigkeit im Veranstaltungssektor liegt darin, den gesetzlichen Verordnungen für alle Arbeitgeber und -nehmer gerecht zu werden und zugleich die künstlerische Freiheit sowie die Publikumswirkung nicht zu beeinträchtigen. Verschiedene Messungen⁴³ haben ergeben, dass der mittlere Schallpegel für die genannten Berufsgruppen häufig über 90 dB(A) liegt, wobei die Expositionszeit in der Regel unter der eines Industriearbeiters liegt. Um dennoch den Dauerschallpegel unter 87 dB(A)⁴⁴ zu senken, müssen bauliche, technische und organisatorische Maßnahmen getroffen werden. Kann der Expositionsgrenzwert nicht unterschritten werden, müssen Gehörschützer verwendet werden. Da Personen in der Musikbranche auf ihr gewohntes und trainiertes Hörvermögen angewiesen sind, gibt es daher besondere Schützer, die deren Anforderungen gerecht werden (siehe Kapitel 4.2.5).

Ein großes Augenmerk des Lärmschutzes für Musiker liegt in den baulichen Maßnahmen. Durch die räumliche Abgrenzung der Proberäume und der Schallabschirmung unterschiedlicher Instrumentengruppen beim gemeinsamen Proben, wird die Schallbelastung für die Musiker deutlich abgesenkt. Besonders die Instrumentengruppen vor dem Schlagwerk und den Blechbläsern eines Orchesters profitiert von der Anbringung von akustischen Stellwänden. Außerdem führt eine Abschwächung der Reflexionen im Raum zu einer Pegelverringerung. Die Abschwächung erfolgt durch schallabsorbierenden Materialien, die auch nachträglich noch verbaut werden können. Dadurch verändert sich die Raumakustik, was für Proberäume in der Regel unproblematisch ist, in Konzertsälen aber meist nicht erwünscht ist und daher nicht umgesetzt wird. Lässt es der Raum zu, so sollten den Musikern großzügig Platz ($> 2 \text{ m}^2$) gewährleistet werden. Damit einher geht eine angepasste Sitzordnung der Instrumentengruppen, die zu einer geringeren Lärmbelastung in den einzelnen Gruppen führen kann, wobei aber das Klangbild des Orchesters beeinflusst wird. Der Einsatz von elektroakustischer Unterstützung wird empfohlen, da er den Musikern ermöglicht leiser zu spielen und ihr Gehör zu schonen. Zusätzlich kann der Pegel der Beschallungsanlage während der Proben auf ein nötiges Mindestmaß eingestellt werden und nur während des Konzerts auf die gewünschte Lautstärke angehoben werden. Gleichwie für die Industrie gelten auch für die Musikbranche die vorgeschriebenen Erholungszeiten, eine regelmäßige Gehöruntersuchung und die Verwendung von Gehörschutz bei Überschreitung des Expositionsgrenzwerts.

⁴³ Vgl. [BMWVA]: S. 17f

⁴⁴ für Österreich und Deutschland wurde der Expositionsgrenzwert auf 85 dB(A) beschränkt

Bei der elektroakustischen Beschallung einer Diskothek gibt es verschiedene Möglichkeiten, um die in der VOLV vorgeschriebenen und verbindlichen Grenzwerte von 85 dB(A) für die Angestellten einzuhalten. Zum Einen kann die Anlage mit Hilfe einer Pegelbegrenzung ausgestattet werden, die den Schallpegel in den Arbeitsbereichen limitiert. Zum Anderen ist die Anbringung und Ausrichtung der Lautsprecher von essentieller Bedeutung, um insbesondere das Bar- und Servicepersonal vor zu hohen Pegeln zu schützen. Die Schallabstrahlung soll deshalb auf die Tanzfläche gerichtet sein und der Barbereich mit Hilfe von raumakustischen Maßnahmen abgeschirmt und gedämpft werden. Zudem soll der Abstand von Schallquellen und Arbeitsplätzen so groß als möglich gewählt werden und das Arbeitspersonal in den lauten Umgebungen häufig wechseln, um die Expositionszeit jedes einzelnen zu verringern. Außerdem besteht bei Beschwerden von Nachbarschaftslärm die Pflicht einer Pegelbegrenzung, die im günstigen Fall auch dem Personal in der Diskothek zugute kommt. Die Kennzeichnung von Lärmbereichen mittels Pegelanzeige und die Bereitstellung von schallgedämmten Ruheräumen werden zusätzlich empfohlen. Zu den Präventivmaßnahmen in Diskotheken gehören ferner die Sensibilisierung und die Ausbildung der Discjockeys in Hinsicht auf lärmbedingte Hörschäden. In der Regel sind sie für die Lautstärke in der Diskothek verantwortlich und gefährden dadurch nicht nur das eigene, sondern auch das Gehör des Publikums. Aus diesem Grund ist eine Pegelanzeige für den Discjockey sinnvoll, mit der er den Schallpegel immer im Visier hat.

Ein ausführliches Regelwerk über die in Deutschland gültigen Richtlinien, Normen und Verordnungen für Lärmschutz am Arbeitsplatz hat die deutsche Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin zusammengestellt [RW30].

4.1.2 Gesetzliche Maßnahmen und Empfehlungen bei Freizeitlärm

Der Begriff „Freizeitlärm“ wird in diesem Kontext als jene Geräuschemission definiert, die außerhalb der Arbeitszeit auftritt, die entweder selber verursacht wird (Verwendung von Lärm verursachenden Geräten) oder bewusst und freiwillig in Kauf genommen wird (Diskotheken- und Konzertbesuche) und die eine Belastung für das Gehör darstellen. Im Gegensatz dazu steht der „Umgebungs-lärm“, der durch die Freizeitaktivitäten Anderer, durch industrielle Tätigkeiten sowie durch Verkehrsmittel entsteht (siehe Kapitel 4.1.3). Wesentliche Schallquellen des Freizeitlärms sind die Musikbeschallung während Veranstaltungen und durch tragbare Abspielgeräte, sowie laute Spielzeuge und Feuerwerkskörper. Im folgenden werden die gesetzlichen Vorschriften und Empfehlungen vorgestellt, die dem individuellen Schutz vor diesen Lärmquellen in der Freizeit dienen.

Musikveranstaltungen

Die Zunahme der Beschallungspegel und der Frequentierung von Musikveranstaltungen in den letzten Jahren – insbesondere bei Jugendlichen – zeigen sich durch eine steigende Zahl an Hörschäden. Um dem entgegen zu wirken, sollten Schallpegelmaxima definiert werden, die das Publikum vor lärmbedingten Hörschäden bewahren. Bis dato ist die Schweiz das einzige Land im deutschsprachigen Raum, dass eine Verordnung verabschiedet hat, die eine obere zu-

lässige Pegelgrenze für öffentliche Veranstaltungen in geschlossenen Räumen und im Freien für den Publikumsbereich festlegt [SLV]. Demnach fallen alle Veranstaltungen mit elektroakustisch verstärkter Beschallung unter diese Verordnung, die in vier verschiedenen Kategorien eingeteilt werden. Bleibt der Schallpegel einer Veranstaltung im Stundenmittel unter 93 dB(A), so wird diese als nicht gehörschädigend eingestuft und es herrscht daher weder Meldepflicht noch eine zeitliche Begrenzung. Darüber hinaus muss jede Veranstaltung der zuständigen Behörde gemeldet werden. Erreicht der Schall im Mittel Pegelwerte bis zu 96 dB(A), muss das Publikum darüber informiert werden, kostenloser normierter Gehörschutz zur Verfügung gestellt werden und der Pegel überwacht werden. Dieselben Regeln gelten für Veranstaltungen, die für maximal drei Stunden zwischen 96 dB(A) und 100 dB(A) Schalldruckpegel erreichen. Erfolgt die Wiedergabe über mehr als drei Stunden in diesem Schallpegelbereich, müssen Ausgleichszonen eingerichtet werden, deren Pegel unter 85 dB(A) liegen müssen. Zusätzlich muss die gesamte Veranstaltung schallmesstechnisch erfasst werden und bei Nachfrage die Messungen den Behörden zur Verfügung gestellt werden. Der in der Verordnung festgelegte maximale Pegel liegt im Stundenmittel bei 100 dB(A) und darf, gleichwie der Spitzenpegel von 125 dB(A), während der Vorstellung nicht überschritten werden. Außerdem dürfen Veranstaltungen für Kinder und Jugendliche bis 16 Jahre höchstens mit Pegeln von bis zu 93 dB(A) im Stundenmittel beschallt werden.

Das österreichische Umweltbundesamt hat eine Lärmschutzrichtlinie für Freiluftveranstaltungen erlassen, die in erster Linie auf den Anrainerschutz abzielt, aber zusätzlich auch Angaben zum Gesundheitsschutz des Publikums selbst beinhaltet. Laut der Richtlinie soll der Dauerschallpegel unter 93 dB(A) liegen. Wird dadurch der Charakter der Veranstaltung soweit verändert, dass sie nicht wie vorgesehen durchzuführen ist, dürfen höhere Dauerschallpegel erreicht werden, maximal jedoch 100 dB(A). Dem Publikum muss in diesem Fall kostenloser normierter Gehörschutz mit 15 dB Schalldämmung zur Verfügung gestellt werden und es muss in geeigneter Weise auf eine Gesundheitsgefährdung des Gehörs hingewiesen werden. Da diese Richtlinie nicht für geschlossene Räume gilt, ist weiterhin mit gehörschädigenden Schallpegeln besonders in Diskotheken zu rechnen [LECHNER1].

Eine Begrenzung der Lautstärke für das Publikum muss daher auch über andere Gesetzesvorschriften erfolgen. Dazu gehören das Arbeitsschutzgesetz mit den Grenzwerten für den Arbeitnehmer (siehe Kapitel 4.1.1) und das Immissionsschutzgesetz mit den Grenzwerten für Anrainer (siehe Kapitel 4.1.3). Im deutschen Recht gibt es ferner die sogenannte Verkehrssicherungspflicht, die beim Betreiben einer Gefahrenquelle den Unterhalter dieser verpflichtet, Vorkehrungen zum Schutz Dritter zu treffen. Eine laute Beschallungsanlage kann als ein Gefahrgut gesehen werden, da sie zu Hörschäden führen kann. Der Betreiber kann sich in der Regel vor zivilrechtlichen Klagen schützen, indem er die DIN-Norm 15905-5 einhält, die aber keine rechtliche Verbindlichkeit besitzt. Die Norm schreibt einen maximalen Mittelungspegel von 99 dB(A) über zwei Stunden vor, wobei der Spitzenschalldruck unter 135 dB(C) liegen muss. Ab 90 dB(A) soll das Publikum vor der Gefahr für das Gehör gewarnt werden und ab 95 dB(A) sollen Gehörschutzmittel zur Verfügung gestellt werden und auf die Benutzung dieser hingewiesen werden [LAI]. Um das Publikum auch in geschlossenen Räumen in Zukunft in Österreich verpflichtend vor zu lauten Schallpegeln zu schützen, bedarf es eines Gesetzes, das die Grenzwerte und die rechtlichen Konsequenzen für den Veranstalter bei Missachtung festlegt.

Tragbare Abspielgeräte

Die Dauerbeschallung durch tragbare Musikabspielgeräte, die bei zu hohem Schallpegel zu einem Hörschaden führen, hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Bis jetzt gibt es auch hier noch keine gesetzlich festgelegten Grenzwerte. Laut dem Beschluss der europäischen Union über Sicherheitsanforderungen für tragbare Abspielgeräte besteht die Gefahr eines dauerhaften Hörverlustes bei Schallpegeln über 89 dB(A), wenn man diesen 40 Stunden pro Woche über 5 Jahre hinweg ausgesetzt ist. Bei heutigen Jugendlichen scheint eine derartige Nutzung der Geräte nicht unüblich zu sein. Daher werden in dem Beschluss die Sicherheitsanforderung für eine noch zu erarbeitende Norm getroffen, die jedes tragbare Abspielgerät einhalten muss. Dabei ist die Expositionsdauer auf 40 Stunden pro Woche bei einem Pegel von 80 dB(A) und auf 5 Stunden pro Woche bei einem Pegel von 89 dB(A) einzuschränken. Zusätzlich muss ein angemessener Warnhinweis auf die Gefahr von Hörschäden aufmerksam machen [EG4].

(Kinder-) Spielzeuge

Kinder sind aufgrund ihres empfindlichen Gehörs vor hohen Schallpegeln besonders gut zu schützen. Die Benutzung von Spielzeugen mit Geräuschquellen sollte daher keine Gefahr für die Ohren darstellen. Spielzeuge fallen unter die europäische Richtlinie 2009/48/EG, in der die Sicherheit von Spielzeuge geregelt ist [EG5]. Es wird dort hingewiesen, dass die Impuls- und Dauergeräusche der Spielzeuge so zu beschränken sind, dass sie keinen Gehörschaden bei Kindern hervorrufen⁴⁵. Verbindliche Pegelgrenzwerte sind jedoch nicht festgelegt worden. Wie in Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2 zu erkennen ist, erreichen Kinderspielzeuge heutzutage erschreckend hohe Pegelwerte, die zu einem akuten Hörverlust führen können, wenn die Schallquelle nahe am Ohr ist. Aus diesen Daten ist ersichtlich, dass die aktuelle europäische Richtlinie nicht ausreichend die Pegel beschränkt und die Gefahr eines Hörverlusts für Kinder besteht. Es wird daher von verschiedenen Autoren⁴⁶ verlangt, die Begrenzung des Dauerschallpegels auf 80 dB(A) festzulegen.

| Spielzeug | Entfernung vom Ohr | |
|----------------------|--------------------|---------|
| | 2,5 cm | 25cm |
| Trötttrompete | 116-117 | 100-104 |
| Trompete klein | 123-125 | 100-102 |
| Einfachtrompete | 109-116 | 92-100 |
| Doppeltrompete | 109-124 | 92-106 |
| Indianertrompete | | 100-110 |
| Signalpfeife | 118-124 | 102-108 |
| Trillerpfeife | 126-128 | 112-114 |
| Schiedsrichterpfeife | 127-129 | 107-109 |
| Knackfrosch | 128-129 | 120-121 |
| Knackfiguren | 134-135 | 120-122 |

Tabelle 4.1: Geräuscentwicklung bei Spielzeug in dB(A); Messergebnis an (zufällig) ausgewählten deutschen Spielwaren (Quelle: Europäisches Gremium CEN/TC5L: „Sicherheit von Spielzeugen“)[ZENNER1, S. 239]

⁴⁵ Vgl. [EG5]: Anhang II, 1.10, S. 22

⁴⁶ Vgl. [ZENNER1] und [BACHMANN]

| Spielzeugwaffen | Entfernung vom Ohr | |
|------------------------------|--------------------|---------|
| | 2,5 cm | 25cm |
| Pistole | 130-135 | 113-121 |
| Pistole mit Streifenmunition | >135 | >135 |
| Pistole mit Knallplättchen | >135 | >135 |
| Luftgewehr | >135 | >135 |

Tabelle 4.2: Geräusentwicklung bei Spielzeug in dB(A); Messergebnis an (zufällig) ausgewählten deutschen Spielwaren (Quelle: Europäisches Gremium CEN/TC5L: „Sicherheit von Spielzeugen“, zitiert nach [ZENNER1, S. 239])

Knallkörper

Eine weitere gefährliche Freizeitaktivität ist das Zünden von Knallkörpern, die auf kurzer Distanz Schallpegel erreichen können, die das Trommelfell sofort zum Zerreißen bringen und das Innenohr stark in Mitleidenschaft ziehen. Bei falscher Anwendung oder beim Einsatz illegaler Knallkörper kann daher ein irreparabler Hörschaden entstehen. Daher werden sie in verschiedene Kategorien eingeteilt, die je nach Gefahr und daher auch nach Lärmpegel erfolgen. Die europäische Richtlinie 2007/23/EG [EG6] regelt für den europäischen Raum die Kategorisierung, die ins österreichische Pyrotechnikgesetz 2010 [PyroTG] eingeflossen ist. Feuerwerkskörper werden nach dem Grad der Gefährdung klassifiziert. Abhängig vom Schallpegel werden die Kategorien in vernachlässigbaren Lärm, geringen Lärm oder für die Gesundheit ungefährlichen Lärm unterteilt. Diese Unterteilung erfolgt durch die Messung des A-bewerteten Impulsschalls. Der Schallpegel muss dabei immer unter 120 dB(A) bleiben. Dies gilt in einem Meter Entfernung für Feuerwerkskörper mit vernachlässigbarem Lärmpegel, acht Meter für solche mit geringem Lärmpegel und 15 Meter für die letzte Kategorie. Kinder werden insoweit geschützt, dass Feuerwerkskörper der ersten Kategorie erst ab 12 Jahre erworben werden können. Für Feuerwerkskörper der anderen Kategorien muss der Erwerber mindestens das 18. Lebensjahr erreicht haben und teilweise werden zusätzlich noch Fachkenntnisse vorausgesetzt.

| Knallkörper | Sicherheitsabstand (<120 dB(A)) | Mindestalter |
|---|---------------------------------|------------------------|
| sehr geringe Gefahr, vernachlässigbarer Lärmpegel | 1 m | 12 Jahre |
| geringe Gefahr, geringer Lärmpegel | 8 m | 18 Jahre |
| mittlere Gefahr, nicht gesundheitsschädigende Lärmpegel | 15 m | 18 Jahre |
| große Gefahr, nicht gesundheitsschädigende Lärmpegel | - | 21 Jahre, Fachpersonal |

Tabelle 4.3: Übersicht der verschiedenen Kategorien von Knallkörpern und deren Sicherheitsanforderungen in Österreich

Die derzeitige Gesetzeslage für Freizeitlärm in Österreich schützt nur mäßig vor Hörschäden. Es liegt in der Verantwortung jedes Einzelnen, sich vor zu hohen Schallpegeln zu schützen,

wie sie besonders bei Musikveranstaltungen vorzufinden sind. Auch die Lautstärke der tragbaren Abspielgeräte muss vom Anwender selber geregelt werden. Dadurch hat der Anwender selber die Freiheit zu entscheiden, inwiefern er sein Gehör belasten will. Um diese Entscheidung aber treffen zu können, ist es wünschenswert, dass die Anwender über die Gefahren und die Konsequenzen aufgeklärt werden, was besonders im Umfeld von Jugendlichen beispielsweise innerhalb der Schulausbildung erfolgen sollte.

4.1.3 Gesetzliche Maßnahmen und Empfehlungen bei Umgebungslärm

Unter Umgebungslärm versteht man die Summe aller Geräusche, denen die Bevölkerung im Alltag ausgesetzt ist. Verursacht durch den Straßen-, Schienen- und Luftverkehr, durch Gewerbe oder Freizeitaktivitäten Anderer, ist der Umgebungslärm eine ständige Belastung für die Menschen, der man nur schwer entfliehen kann. Dabei erreicht diese Art von Lärm nur selten Pegel, die dem Gehör einen Schaden zufügen. Es gilt vielmehr die Bevölkerung vor extraauralen Folgen aufgrund der Lärmbelastung zu bewahren, die erheblich die Lebensqualitäten einschränken können (siehe Kapitel 2.2). Deshalb sind verschiedene Richtlinien der europäischen Gemeinschaft, sowie Normen und Gesetze in den jeweiligen Länder erlassen worden, die der Bewertung und der Bekämpfung von Umgebungslärm dienen.

Den besten Schutz für die Bevölkerung stellen Grenzwerte an jenen Orten dar, an denen sich Menschen normalerweise tags- oder nachtsüber aufhalten, im Besonderen der Wohnort. Die Grenzwerte müssen so gewählt werden, dass eine Gesundheitsgefährdung ausgeschlossen wird. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt daher in Wohngebieten einen Maximalpegel, der am Tag höchstens 55 dB(A) und in der Nacht 45 dB(A) erreichen darf. In Wohn- und Schlafräumen soll der Nachtpegel sogar unter 30 dB(A) liegen, was aber in Stadtzentren nahezu unmöglich ist. Die österreichische Norm ÖNORM S 5021 beschreibt deutlich ausführlicher, welche Schallimmissionsgrenzwerte je nach Gebiet eingehalten werden müssen. Dabei ist besonders die Wohnungslage ausschlaggebend. Während äußerst niedrige Dauerschallpegel in Krankenhausnähe eingehalten werden müssen, liegen die Grenzwerte im Kerngebiet einer Stadt bis zu 15 dB höher, als es die WHO vorschlägt (siehe Tabelle 4.4).

Aufgrund unterschiedlicher Ländergesetze differieren die Grenzwerte und teilweise auch die Kategorien in Österreich von Bundesland zu Bundesland. Diese sind im „Handbuch Umgebungslärm – Minderung und Ruhevorsorge“⁴⁷ gegenübergestellt. Die Grenzwerte dienen als Grundlage für die maximalen Schallpegel, die durch den Verkehr, Gewerbebetriebe und durch Freizeitaktivitäten in dem jeweiligen Gebiet entstehen dürfen.

⁴⁷ Vgl. [THALER, S. 36ff]: Planungsrichtwerte der Länder

| BAULAND: | | A-bewertete Immissionsgrenzwerte $L_{A,eq}$ in dB | |
|-----------|--|---|--------|
| Kategorie | Gebiet und Standplatz | tags | nachts |
| 1 | Ruhegebiet, Kurgebiet, Krankenhaus | 45 | 30 |
| 2 | Wohngebiet in Vororten Wochenendhausgebiet, ländliches Wohngebiet, Schulen | 50 | 35 |
| 3 | städtisches Wohngebiet, Gebiet für Bauten land- und forstwirtschaftlicher Betriebe mit Wohnungen | 55 | 40 |
| 4 | Kerngebiete (Büros Geschäfte, Verwaltung ohne wesentliche Emission störenden Schalls, Wohnungen) Gebiet für Betriebe ohne Schallemission | 60 | 45 |
| 5 | Gebiet für Betriebe mit geringer Schallemission (Verteilung, Erzeugung, Dienstleistung, Verwaltung) | 65 | 50 |

Die Zuordnung dieser Kategorien zu den Flächenwidmungskategorien der einzelnen Bundesländer kann der ÖAL-Richtlinie Nr. 36 entnommen werden.

Tabelle 4.4: Immissionsgrenzwerte nach ÖNORM S 5021-1 [LECHNER1, S. 14]

Um diese Grenzwerte einhalten zu können, hat die europäische Union die Richtlinie 2002/49/EG [EG2] erlassen, die durch das Bundes-Umgebungslärmschutzgesetz [BGB1.I/60] in Österreich umgesetzt ist. Sie verlangt nach der Erstellung sogenannter Umgebungslärmkarten für Ballungsräume, Hauptstrecken und Flughäfen, die die Lärmbelastung graphisch wiedergeben. Basierend auf diesen sollen Aktionspläne zur Lärmreduktion gefunden werden, um den Grenzwerten der Norm ÖNORM S 5021 zu genügen. Die Berechnung und Messung der Lärmindizes und deren Definitionen für Österreich sind in der Bundes-Umgebungslärmschutzverordnung [BGB1.II/144] beschrieben, die auf die Anhänge I bis IV der Richtlinie 2002/49/EG Bezug nimmt. Dabei werden die Zeiträume für den Tages-, Abend- und Nachtindex und die Berechnung dieser festgelegt, wie sie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben sind. Relevant für die Umgebungslärmkarten sind der Tag-Abend-Nacht-Index L_{den} und der Nachtindex L_{night} . Die Bestimmung dieser Indizes ist für die verschiedenen Lärmquellen durch Richtlinien und Normen festgelegt und sind in der Verordnung aufgelistet⁴⁸. Außerdem werden Schwellenwerte definiert, die nicht als Grenzwerte zu sehen sind, sondern als Hinweis auf die Notwendigkeit von Aktionsplänen dienen. Der Tag-Abend-Nacht-Schwellenwerte für den Straßenverkehrslärm ist demnach mit 60 dB(A) festgesetzt, der für die Nacht mit 50 dB(A). Weitere Gesetze und Verordnungen, wie das österreichische Kraftfahrzeuggesetz [KFG] oder die Straßenverkehrsverordnung [StVO], legen zusätzliche Grenzwerte für Straßenverkehrslärm fest. So werden zum Einen die Betriebsgeräusche des Fahrzeugs definiert, zum Anderen durch Geschwindigkeitsbegrenzungen oder dem Nachtfahrverbote von LKWs der Schallpegel gesenkt. Zusätzlich müssen bei Neuplanungen und Erweiterungen von Verkehrswegen Grenzwerte insbesondere in der Nähe von Wohn- und Ruhegebiete eingehalten werden, die den Immissionsgrenzwerten der österreichischen Norm S 5021 genügen müssen (siehe Tabelle 4.4).

Verbindliche Lärmgrenzwerte für den Schienenverkehrslärm schreibt die Schienenverkehrslärm-Immissionsverordnung [SchIV] vor. Dabei liegt die Grenze des Tages-Beurteilungspegels (L_r) bei 65 dB(A) und die des Nacht-Beurteilungspegels bei 55 dB(A). Aufgrund der Geräuschcharakteristik und der geringen Häufigkeit mit langen Ruhephasen

⁴⁸ Vgl. [BGB1.II/144]: § 4 Bewertungsmethoden für Lärmindizes

von Schienenverkehr im Vergleich zu Straßenverkehr errechnet sich der Beurteilungspegel aus dem um 5 dB abgesenkten energieäquivalenten Dauerschallpegel⁴⁹. Zusätzlich sind in der Schienenfahrzeug-Lärmzulässigkeitsverordnung [SchLV] Grenzwerte für verschiedenen Schienenfahrzeuge definiert, die abhängig von der Fahrzeuggattung einen Außenschallpegel zwischen 71 und 86 dB(A) erreichen dürfen.

Für den Fluglärm liegt der Tag-Abend-Nacht-Schwellwert der Umgebungslärmschutzverordnung bei 65 dB(A), der Nacht-Schwellwert bei 55 dB(A). Die Grenzwerte der verschiedenen Flugzeugtypen werden in der Zivilluftfahrzeug-Lärmzulässigkeitsverordnung [ZLZV] gesondert geregelt, in der auf den Anhang 16 des Abkommens über die Internationale Zivilluftfahrt verwiesen wird⁵⁰. Jeder Flugzeugtyp muss ein Lärmzertifikat vorweisen können, ohne welches es nicht in der EU landen darf. Für die unterschiedlichen Flugzeugkategorien sind die Messmethoden und der Maximalpegel vorgeschrieben⁵¹. Ferner sind für den Lärmschutz in der Umgebung rund um Flugplätze die Planungs- und Berechnungsgrundlagen in der Richtlinie 24, Blatt 1 bis 4 des österreichischen Arbeitsring für Lärmbekämpfung festgelegt.

Die Schwellenwerte für industrielle Tätigkeiten liegen grundsätzlich bei einem Tag-Abend-Nacht-Pegel von 55 dB(A) und einem Nachtpegel von 50 dB(A). Es gibt jedoch Bundesländer, die eigene Schwellenwerte festgelegt haben. Ferner wird der anfallende Gewerbelärm durch die Gewerbeordnung [GewO] gesetzlich geregelt. Dabei werden ausschließlich Gewerbe zugelassen, deren Lärmbelastung für die Nachbarn zumutbar ist. Die Zumutbarkeit wird bewertet, indem die Veränderungen nach dem Einbringen der Anlage zum ursprünglichen Zustand für ein normal empfindendes Kind und einen Erwachsenen ermittelt werden. Grenzwerte werden in der Verordnung nicht vorgeschrieben, sondern von Fall zu Fall festgelegt, wobei österreichische Normen und Richtlinien des Arbeitsringes für Lärmbekämpfung und des Umweltbundesamtes herangezogen werden [THALER].

Neben dem Verkehr- und Gewerbelärm verursacht auch die Verwendung von Geräten und Maschinen im Freien, wie sie bei Bauarbeiten oder Handwerkern eingesetzt werden, für Anrainer eine erhebliche Belastung. Daher hat die europäische Union die Richtlinie 2005/88/EG⁵² [EG7] erlassen. Diese weist jede Maschine und jedes Gerät einer Kategorie⁵³ zu und legt den Maximalpegel fest. Je nach Maschinentyp und verbauter Nutzleistung, Masse oder Schnittbreite liegen die Maximalschallleistungspegel zwischen 91 und 106 dB⁵⁴.

Zu einer weiteren Lärmbelästigung gehört häufig auch der Nachbarschaftslärm, der von Wohnungsnachbarn oder auch von Menschen auf angrenzenden Straßen, Plätzen oder Parks verursacht wird. Es kommen aufgrund der unterschiedlichen Situation verschiedene Gesetze und Richtlinien in Betracht. Grundsätzlich geht es dabei um die Zumutbarkeit einer Geräuschquelle für die Anrainer, die nicht nur vom Schallpegel abhängt, sondern auch von der

⁴⁹ Vgl. [THALER, S. 42f]

⁵⁰ Vgl. [ZLZV]: § 2 Z 1

⁵¹ Vgl. [ZLZV]: § 8 Lärmgrenzwerte, Anlage B-E

⁵² Änderung der Richtlinie 2000/14/EG [EG8]

⁵³ Vgl. [EG8]: Anhang I: Definitionen von Geräten und Maschinen

⁵⁴ Vgl. [EG7]: Artikel 1

Art des Geräusches und von dessen Dauer und Häufigkeit. Diese Faktoren können in Summe zu einer Einschränkung der Lebensqualität führen.

So schreibt die in Kapitel 4.1.2 erwähnte Lärmschutzrichtlinie für Freiluftveranstaltungen vor, dass für jede Veranstaltung im Freien vorab abgeschätzt werden muss, ob die in der Norm ÖNORM S 5021 festgelegten Immissionsgrenzwerte überschritten werden. Ist dies der Fall, so dürfen bei 10 Veranstaltungen im Jahr maximale energieäquivalente Dauerschallpegel von 70 dB(A) am Tag und 50 dB(A) während der Nacht vor den Fenstern von umgebenden Wohngebäuden gemessen werden. Bei höher zu erwartenden Schallpegeln muss dagegen die Anzahl der Veranstaltungen im Jahr heruntergeschraubt werden⁵⁵. Für Gastgewerbe gibt es bei Beschwerden von Nachbarn sogenannte Pegelbegrenzeranlagen, die den maximalen Lautstärkepegel beschränken. Der erlaubte Innenpegel im Lokal ergibt sich durch den beim Nachbarn festgelegten Maximaldauerschallpegel. Dieser darf weder durch die Beschallungsanlage noch durch die anwesenden Menschen überschritten werden. Falls die Ruhestörung durch die Menschenansammlung im Gastlokal verursacht ist, müssen Änderungen an der Raumakustik getroffen werden. Eine genaue Vorgehensweise wird im „Praxisleitfaden Gastgewerbe“ [LECHNER2] des österreichischen Umweltbundesamtes beschrieben, welche Maßnahmen und nach welchen Normen diese zu treffen sind.

Der durch Menschen verursachte Lärm auf Straßen, Parks oder öffentlichen Plätzen wird in jedem Bundesland getrennt geregelt⁵⁶. Allen gemeinsam ist, dass der Lärm, der auf „ungebührlicher Weise“ entstanden ist, als eine Verwaltungsübertretung geahndet wird. In der Regel kommt es zunächst zu einer Verwarnung und bei anhaltender Störung zu einer Geldstrafe. Ob eine Lärmstörung als „ungebührlich“ bewertet wird, ist von Fall zu Fall abzuklären, wobei der Verfassungs- und Verwaltungsgerichtshof bereits zahlreiche Rechtssprechungen zu diesem Thema getroffen haben.

Bei einer Lärmstörung durch den Wohnnachbarn wird das Mietrechtsgesetz [MRG] bzw. das Wohnungseigentumsgesetz [WEG] herangezogen. Nach diesem darf dem Mieter gekündigt werden, wenn das Zusammenleben mit den Mitbewohnern durch „rücksichtsloses, anstößiges oder sonst grob ungehöriges Verhalten“⁵⁷ gestört wird. Die gleiche Formulierung ist im Wohnungseigentumsgesetz verankert, wobei der Wohnungseigentümer aus der Gemeinschaft ausgeschlossen werden kann, wenn die Mehrheit der übrigen Wohnungseigentümer ihn auf Störung des Zusammenlebens verklagt⁵⁸.

⁵⁵ Vgl. [LECHNER1, S. 7]: Tabelle 2: Häufigkeit von Veranstaltungen pro Kalenderjahr in Abhängigkeit der Immissionspegel

⁵⁶ Vgl. INDEX DES LANDESRECHTS, S. 53: *4000 Anstandsverletzung, Ehrenkränkung, Lärmerregung, Polizeistrafen*. RIS, URL: <http://www.ris.bka.gv.at/RisInfo/IndexLR.pdf> (abgerufen: 30.07.2010)

⁵⁷ Vgl. [MRG, S. 2173f]: § 30 (3) Kündigungsbeschränkung

⁵⁸ Vgl. [WEG, S. 593f]: § 36 (3) Ausschließung von Wohnungseigentümern

4.2 Gehörschutz

Der Gehörschutz ist eine Schutzeinrichtung, die den Schall unmittelbar vor dem Ohr der betroffenen Person dämpfen soll. Er stellt bei zu hohen Pegeln die letzte Möglichkeit in der Schallübertragungskette von Quelle bis Empfänger dar, einen lärminduzierten Hörschaden zu vermeiden. Häufig gibt es keine technischen Mittel oder es ist nicht erwünscht, die Schallquelle und den Übertragungsweg ausreichend zu dämpfen. Beispielsweise ist Maschinenlärm in Industriebetrieben nicht leicht abzuschwächen, besonders wenn der Arbeiter direkt an die Maschine muss. Anders ist die Situation im Orchester, bei dem es dagegen oft nicht erwünscht ist die Pegel zu senken, da ein Fortissimo unter Anderem durch den hohen Pegel besondere Emotionen hervorruft. Dabei ist der Zuhörer durch den Abstand, den er zum Orchester hat, nur selten gefährdet. Hingegen sitzen die Orchestermusiker direkt an der Schallquelle und können daher leichter einen Hörschaden erleiden. Die Aufgabe des Gehörschutzes ist es, für die jeweilige Situation den bestmöglichen und notwendigen Schutz zu leisten, ohne aber eine Einschränkung der jeweiligen Tätigkeit zu bewirken. Es ist naheliegend, dass die Ansprüche eines Arbeiters an den Gehörschutz andere sind als die eines Musikers oder Musikliebhabers. Nachfolgend werden die Kennwerte und verschiedenen Modelle von Gehörschützern vorgestellt und deren Verwendung im Berufsleben und in der Freizeit aufgezeigt.

4.2.1 Kennwerte des Gehörschutzes

Die wichtigste Größe eines Gehörschutzes ist sein Dämmwert über den relevanten Frequenzbereich. Zur Ermittlung dieses Dämmwertes gibt es verschiedene Verfahren, die in unterschiedlichen Normen festgeschrieben sind. Das Ziel ist eine gute Vergleichbarkeit der Gehörschützer zu erreichen [CDC].

4.2.1.1 SNR

In der ISO 4869-2 ist das Single-Number Rating (SNR) Verfahren beschrieben, das den Dämmwert eines bestimmten Gehörschutzes über den relevanten Frequenzbereich ermitteln lässt. Der Dämmwert kann mit unterschiedlicher Sicherheit (Varianz) angegeben werden. Bei diesem Verfahren erstreckt sich der relevante Frequenzbereich über 8 Oktavbänder, beginnend bei 63 Hz bis 8 kHz. Die Ergebnisse der einzelnen Bänder werden summiert, um einen Gesamtdämmwert zu erreichen:

$$\text{SNR}_X = 100\text{dB(C)} - 10\log_{10} \sum_{f=63}^{8000} 10^{0,1(L_{A,f} - \text{APV}_{f,X})} \quad [4.1]$$

Die Berechnung geht von einem rosa Rauschen als Hintergrundgeräusch aus, das über alle Frequenzbänder aufsummiert 100 dB(C) beträgt. $\text{APV}_{f,X}$ (Assumed Protection Value) ist die angenommene Dämmung des jeweiligen Gehörschutzes mit einer Sicherheit X% für das jeweilige Frequenzband f. $\text{APV}_{f,X}$ beinhaltet die Kenndaten des Gehörschutzes, die sich aus der

mittleren Dämmung und deren gewichteter Standardabweichung zusammensetzen⁵⁹. $L_{A,f}$ ist der A-bewertete Oktavbandpegel des rosa Rauschens im Oktavband f .

Mit dem ermittelten SNR kann für jede Lärmumgebung der A-bewertete Schallpegel $L_{A,X}$ berechnet werden, dem das Ohr bei Verwendung des Gehörschutzes ausgesetzt ist. Dafür ist der C-bewertete Pegel L_C der Umgebung zu messen und anschließend in folgende Gleichung einzusetzen:

$$L_{A,X} = L_C - \text{SNR}_X \quad [4.2]$$

In Worten bedeutet die Gleichung, dass mit einer Sicherheit von $X\%$ (in der Regel 84%) beim Tragen des Gehörschutzes mit dem obenstehenden SNR_X in einer Lärmumgebung mit Pegel L_C der Pegel $L_{A,X}$ am Ohr anliegt⁶⁰.

4.2.1.2 NNR/NRR(SF)

Eine ähnliche Berechnung erfolgt nach dem amerikanischen Standard ANSI S3.19-1974, der im ANSI S2.6-1997 überarbeitet wurde. Die Methode heißt Noise Reduction Rating (NRR) und kann für A-bewertete und C-bewertete Umgebungsmessungen verwendet werden. Für die Berechnung des NRR gilt:

$$\text{NRR} = 107,9\text{dB(C)} - 10\log_{10} \sum_{f=125}^{8000} 10^{0,1(L_{A,f} - \text{APV}_{f,98})} - 3\text{dB} \quad [4.3]$$

Im Unterschied zum SNR erfolgt die Berechnung immer für eine Sicherheit von 98% . Als Hintergrundgeräusch dient rosa Rauschen mit $107,9 \text{ dB(C)}$ über 7 Oktavbänder, beginnend bei 125 Hz bis 8 kHz . Alle anderen Parameter sind identisch mit der SNR-Berechnung.

Der durch den Gehörschutz gedämmte Schall beträgt⁶¹:

- für C-bewertete Umgebungsmessung:

$$L_{A,98} = L_C - \text{NRR} \quad [4.4]$$

- für A-bewertete Umgebungsmessung:

$$L_{A,98} = L_A - (\text{NRR} - 7\text{dB}) \quad [4.5]$$

In der aktuelleren und verbesserten Methode, nämlich dem Subject-Fit Noise Reduction Rating (NRR(SF)), wurde der relevante Frequenzbereich auf die 8 Oktavbänder des SNR erweitert und es wurden zusätzlich noch die halben Oktavfrequenzen bei 3150 Hz und 6300 Hz in die Berechnung mit aufgenommen. Es ist ein Maß für die effektive Dämmung des Schalldrucks, der am Trommelfell ankommt (REAT: real-ear attenuation at threshold). Für NRR(SF) gilt:

⁵⁹ Vgl. [CDC], S.10: Method for Calculating and Using the Assumed Protection Values ($\text{APV}_{f,X}$)

⁶⁰ Vgl. [CDC], S. 6: Zahlenbeispiel zur Berechnung des SNR

⁶¹ Vgl. [CDC], S. 2: Zahlenbeispiel zur Berechnung des NRR

$$\text{NRR}(\text{SF}) = 108,5\text{dB}(\text{C}) - 10\log_{10} \sum_{f=63}^{8000} 10^{0,1(L_{A,f} - \text{APV}_{f,84})} - 5\text{dB} \quad [4.6]$$

Es ist zu beachten, dass der Dämmwert nur noch eine Sicherheit von 84% hat. Die weiteren Parameter sind wie bei der NRR-Methode.

Der durch den Gehörschutz gedämmte Schall beträgt⁶²:

- für C-bewertete Umgebungsmessung:

$$L_{A,84} = L_C - 5\text{dB} - \text{NRR}(\text{SF}) \quad [4.7]$$

- für A-bewertete Umgebungsmessung:

$$L_{A,84} = L_A - \text{NRR}(\text{SF}) \quad [4.8]$$

Aufgrund der weiteren Verwendung der veralteten NRR-Methode zur Berechnung der Dämmwerte wurden Skalierungsfaktoren eingeführt, die je nach verwendetem Gehörschutz herangezogen werden müssen. Handelt es sich um einen Kapselgehörschutz, so muss die NRR mit 0,75 gewichtet werden. Bei angepassten Gehörstöpseln oder solchen aus Schaum beträgt die Gewichtung 0,5 und bei allen anderen Gehörschützern 0,3 [NIOSH].

4.2.1.3 HML

Die HML-Methode⁶³ besteht aus drei Parametern (**H**igh, **M**iddle, **L**ow), die je nach Umgebungslärm zum Dämmwert beitragen. Entscheidend ist dabei die Differenz zwischen der C-bewerteten und A-bewerteten Messung des Umgebungslärms. Beträgt der Unterschied höchstens 2 dB, so kommen die Parameter High und Middle zur Geltung. Für größere Differenzen werden die Parameter Middle und Low herangezogen. Dadurch wird der Fehler der Bewertungskurven etwas verkleinert und die Dämmwerte werden präziser. Im Unterschied zu den anderen Verfahren werden die drei Parameter basierend auf 8 verschiedenen Referenzspektren ermittelt. Hinzu kommt für jedes Referenzspektrum noch eine Skalierung d_i , die empirisch ermittelt wurde. Die drei Parameter lassen sich wie folgt berechnen:

$$H_X = 0,25 \sum_{i=1}^4 \text{PNR}_{X,i} - 0,48 \sum_{i=1}^4 (d_i \cdot \text{PNR}_{X,i}) \quad [4.9]$$

$$M_X = 0,25 \sum_{i=5}^8 \text{PNR}_{X,i} - 0,16 \sum_{i=5}^8 (d_i \cdot \text{PNR}_{X,i}) \quad [4.10]$$

$$L_X = 0,25 \sum_{i=5}^8 \text{PNR}_{X,i} + 0,23 \sum_{i=5}^8 (d_i \cdot \text{PNR}_{X,i}) \quad [4.11]$$

$$\text{PNR}_{X,i} = 100\text{dB}(\text{A}) - 10\log_{10} \sum_{f=63}^{8000} 10^{0,1(L_{A,f,i} - \text{APV}_{f,X})} \quad [4.12]$$

⁶² Vgl. [CDC], S. 4: Zahlenbeispiel zur Berechnung des NRR(SF)

⁶³ Vgl. Norm EN ISO 4869-2:1995/AC:2007

PNR ist die vorausgesagte Geräuschminderung und muss für alle 8 Referenzfrequenzspektren berechnet werden. Die restlichen Parameter sind bereits aus der SNR- und NRR-Berechnung bekannt und werden auf dieselbe Weise ermittelt. Sind die 3 Parameter für den Gehörschutz berechnet, so kann seine Dämmwirkung für jede Situation angegeben werden. Dafür muss zunächst L_A und L_C der Umgebung gemessen und anschließend eingesetzt werden:

$$\text{für } (L_C - L_A) \leq 2\text{dB: } \text{PNR}_X = M_X - \left(\frac{H_X - M_X}{4} \cdot (L_C - L_A - 2\text{dB}) \right) \quad [4.13]$$

$$\text{für } (L_C - L_A) > 2\text{dB: } \text{PNR}_X = M_X - \left(\frac{M_X - L_X}{8} \cdot (L_C - L_A - 2\text{dB}) \right) \quad [4.14]$$

Es folgt für den durch den Gehörschutz bedämpften Schall am Ohr⁶⁴:

$$L_{A,X} = L_A - \text{PNR}_X \quad [4.15]$$

4.2.2 Passiver Gehörschutz

Im Laufe der Zeit haben sich verschiedene Arten von Gehörschutz bewährt, die je nach Situation mehr oder weniger vorteilhaft sind. Wichtig dabei ist die Qualität der Dämmung über den gesamten Frequenzbereich, der Tragekomfort, der Preis, die Lebensdauer des Gehörschutzes und auch das Aussehen.

Gehörschützer lassen sich in zwei Gruppen unterteilen: der passive und der aktive Gehörschutz. Passiver Gehörschutz dämmt ankommenden Schall ausschließlich durch absorbierende und schallharte Materialien, während aktiver Gehörschutz (zusätzlich) mittels elektronischer Unterstützung eine Verringerung des Pegels erreicht.

4.2.2.1 Kapselgehörschutz

Der Kapselgehörschutz ist der Form nach sehr ähnlich mit einem Kopfhörer und wird im Volksmund auch als „Mickey Mouse“ bezeichnet. Er besteht aus einer Kapselverschalung und einem Dichtungskissen aus Schaumstoff oder Flüssigkeit, das das Ohr komplett umgibt und im besten Fall nahtlos verschließt. Das Innere der Verschalung ist mit akustisch absorbierendem Material ausgekleidet, um die erwünschte Dämpfung zu erreichen. Ausschlaggebend für den Schutz sind das Volumen der Verschalung und die verwendeten Materialien der Ohrpolster und der Verkleidung. Je absorbierender die Innenverkleidung, je abschließender die Ohrpolster am Kopf anliegen und je größer das Volumen ist, desto höher ist der Dämpfungsgrad der Kapsel.

⁶⁴ Vgl. [CDC], S. 8f: Zahlenbeispiel zur Berechnung des HML



Abbildung 4.1: Kapselgehörschutz der Firma E·A·R®: Muff 4000 [EAR1]

Der Frequenzgang des Kapselgehörschutzes ist nicht linear. Tiefe Frequenzen werden nur mäßig gedämpft, hohe hingegen stark (siehe Abbildung 4.2). Dadurch wird insbesondere die Sprachverständigung erschwert, weshalb eine erhöhte Unfallgefahr in Betrieben entstehen kann. Unzureichender Schutz erfolgt, wenn der Kapselgehörschutz nicht das gesamte Ohr umschließt, was oft durch lange Haare oder das Tragen von Brillen passieren kann. Zum Einsetzen kann dies durch einen festeren Kopfbügel vermieden werden, zum Anderen durch angepasste Dichtungskissen. Hierfür müssen die Kopfform des Anwenders vermessen werden und individuelle Ohrpolster erstellt werden, die auf einen herkömmlichen Kapselgehörschutz montiert werden. Dadurch verbessert sich insbesondere zu tiefen Frequenzen hin (<400 Hz) die Dämpfung um ca. 5 dB. Besonders für extrem laute Umgebungen, wie sie im Militär vorzufinden sind, ist der individuelle Gehörschutz von Vorteil, aber auch teurer in der Anschaffung⁶⁵.

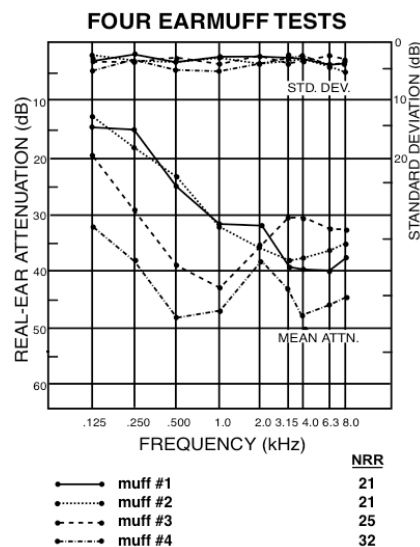


Abbildung 4.2: Frequenzgang vier verschiedener Kapselgehörschützer mit unterschiedlichem Volumina und Dichtungskissen [BERGER1, S. 1]

Der Kapselgehörschutz findet häufig an sehr lauten Arbeitsplätzen Verwendung, da damit eine starke Dämpfung (> 40 dB) erreicht werden kann. Zusätzlich spielen der geringe Preis (ca. 10 bis 40 Euro) und die einfache Anwendung eine große Rolle. Negativ zu bewerten ist der Tragekomfort, da das Eigengewicht und das Kopfband Druck auf die Ohren und den Kopf

⁶⁵ Vgl. [MCKINLEY, S. 9]: Abbildungen des angepassten Kapselgehörschutzes und veränderter Frequenzgang

ausüben. Besonders in feuchten und warmen Umgebungen irritiert die Schutzvorrichtung auf Dauer, da man unter dem Schützer zum Schwitzen beginnt, was einen Juckreiz bewirken kann [MCKINLEY].

Kapselgehörschützer werden nach der Norm EN 352-1:2002 kategorisiert. Dort sind die zu verwendenden Werkstoffe und Größen definiert, denen der Gehörschutz genügen muss. Ferner sind die Messnormen und Prüfverfahren⁶⁶ festgelegt, nach denen der Kapselgehörschutz bewertet wird. Neben der Standardabweichung, die unter 7,0 dB in einem Terzband und unter 4,0 dB in vier oder mehr benachbarten Terzbändern liegen muss, ist auch noch eine Mindestschalldämmung über 7 Oktavbänder definiert. Zur Erfüllung der Norm muss außerdem der APV-, der HML- und der SNR-Wert nach EN ISO 4869-2:1995/AC:2007 angegeben werden (siehe Kapitel 4.2.1).

4.2.2.2 Gehörschutzstöpsel

Gehörschutzstöpsel sind Schutzeinrichtungen, die in den Ohrkanal eingeführt werden, um diesen zu verschließen. Dadurch entsteht eine beabsichtigte Blockierung des Hörkanals, die eine Schalleitungsdämpfung erzeugt (siehe Kapitel 3.1.1). Somit trifft ein geringerer Pegel auf das Innenohr, wodurch Schäden an diesem vermieden werden können. Zertifizierte Gehörschutzstöpsel müssen die europäische Norm EN 352-2:2002 erfüllen, deren akustisch relevante Vorgaben identisch mit der Norm für Kapselgehörschutz sind. Hinzu kommt die Anforderung an das verwendete Material, dessen Dämmeigenschaften sich nicht aufgrund von Schweiß, Ohrenschmalz oder anderen Flüssigkeiten im Gehörgang maßgeblich ändern dürfen. Es gibt verschiedene Ohrstöpsel mit unterschiedlichen Charakteristiken und Anwendungsgebieten, die grundsätzlich in drei Kategorien eingeteilt werden können [PATEL].

Formbarer Gehörschutzstöpsel

Formbare Ohrstöpsel bestehen aus Materialien, die durch Kneten an den jeweiligen Gehörgang angepasst werden oder diesen abdecken. Dabei handelt es sich meist um leicht kompressible Werkstoffe, die zunächst zusammengepresst werden und sich nach erfolgtem Einsetzen im Gehörgang auseinanderdehnen. Dadurch wird eine komplette Abdichtung des Hörkanals erreicht. Zur selben Kategorie gehören auch Ohrstöpsel aus Wachs oder Silikon⁶⁷, die zu einer Kugel geformt werden und den Ohrkanal abdecken.

⁶⁶ Vgl. Norm EN 13819-1:2002

⁶⁷ siehe Firma OHROPAX®: www.ohropax.de



Abbildung 4.3: Formbare Gehörschutzstöpsel aus Schaumstoff der Firma E·A·R®: E·A·Rsoft™ SuperFit™ [EAR2]

Der Frequenzgang der formbaren Ohrstöpsel hängt stark davon ab, wie weit sie in den Ohrkanal eingeführt werden. Bei korrekter Anwendung kann von einem fast linearen Frequenzgang (Abweichung ca. ± 5 dB) ausgegangen werden. Je weniger der Ohrstöpsel in den Gehörgang reicht, desto schwächer werden die tiefen Frequenzen gedämpft, wodurch sich eine Tiefpasscharakteristik für den Hörer einstellt. Es wird daher von einem gefärbten Klang gesprochen, der besonders bei Musikgenuss störend ist. In der Abbildung 4.4 ist die Wirkung der Tragepositionen im Ohrkanal auf den Frequenzgang dargestellt: „partial (part.) insertion foam“ mit 15-20% des Schaumstoffs im Ohrkanal, „standard (std.) insertion foam“ mit 50-60% im Kanal und „deep insertion foam“ mit 80-100% des Gehörschutzes im Ohrkanal. Der Grund für den veränderten Frequenzverlauf ist der Verschlusseffekt („occlusion effect“).

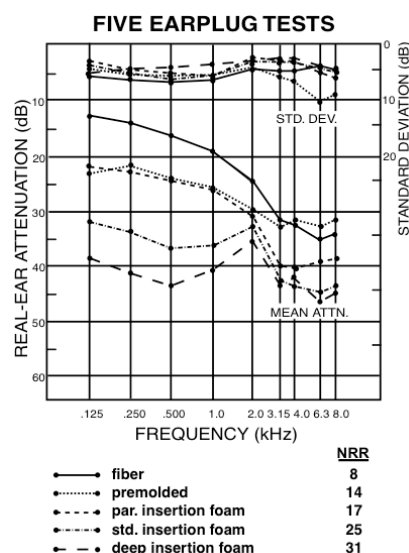


Abbildung 4.4: Frequenzgang fünf verschiedener Gehörsstöpsel: Einfluss des verwendeten Materials und der Anwendung [BERGER1, S. 1]

Der Verschlusseffekt entsteht bei der Schallübertragung durch die Knochen an das Hörorgan bei gleichzeitiger Blockierung des Gehörgangs. Der über die Knochen geleitete Schall wird nicht nur an das Innenohr direkt geleitet, sondern bewirkt auch Schall im Ohrkanal. Durch das offene Ende an der Ohrmuschel kann der Schall normalerweise entweichen und bewirkt somit keinen Pegelanstieg vor dem Trommelfell. Aufgrund des Verschlusses durch einen Ohrstöpsel baut sich der Schall jedoch im Hörkanal auf und wirkt verstärkend auf das Trommelfell. Dadurch kommt es bei Frequenzen unter 2 kHz zu einer geringeren Dämpfung, die mehr als 20 dB über der vorgesehenen liegen kann. Anwender beklagen sich deswegen häufig über eine verzerrte Wahrnehmung ihrer eigenen Stimme und über Druck auf das Ohr bei der Verwendung von Ohrstöpseln. Zur Behebung dieses Effekts muss entweder der Gehörschutz soweit in den Hörkanal eingebracht werden, dass auch die Knochenvibrationen gedämpft wer-

den oder ein Belüftungsloch im Ohrstöpsel vorhanden sein, das die Innenseite des Stöpsels mit der Außenseite verbindet damit der Schall entweichen kann.

Vorteile der formbaren Ohrstöpsel sind der niedrige Preis – bereits für einige Cent erhältlich -, die geringe Größe, der Tragekomfort und die hohe Dämmung. Letzte ist aber nur dann gegeben, wenn der Anwender die Ohrstöpsel korrekt, das heißt tief in den Gehörgang, einsetzt. Bei falscher Verwendung kann es im schlechtesten Fall zu keinerlei Dämmung kommen und der Anwender wähnt sich fälschlicherweise geschützt. Meistens ist der Frequenzgang nicht linear anzunehmen, wodurch eine klangliche Veränderung zu bemerken ist. Es handelt sich in der Regel um Einweg-Schutzeinrichtungen, da sie schwer zu säubern sind und eine erhöhte Infektionsgefahr bei mehrmaliger Verwendung besteht.

Vorgefertigte Gehörschutzstöpsel

Die vorgefertigten Gehörschutzstöpsel sind aus Glaswatte, Silikon, Gummi oder Plastik und in verschiedenen Formen und Größen zu haben. Sie können schnell ohne jegliches Vorformen in den Gehörgang eingesetzt werden. Im Gegensatz zu den knetbaren Ohrstöpseln können sie mehrmals verwendet werden, müssen aber regelmäßig gepflegt werden.



Abbildung 4.5: Vorgefertigte Gehörschutzstöpsel der Firma E·A·R®: UltraFit® [EAR3]

Das Dämpfungs- und Frequenzverhalten ist ähnlich dem der formbaren Ohrstöpsel (siehe Abbildung 4.4, Graph „premolded“) und auch der unerwünschte Verschlusseffekt kann bei falscher Anwendung auftreten und mittels der beschriebenen Maßnahmen verbessert werden.

Neben dem leichten und schnellen Einsetzen des Schutzes in den Gehörgang und der mehrmaligen Verwendbarkeit, spricht auch der Preis von wenigen Euro pro Gehörschutzpaar für diese Schützer. Die vorgefertigte Bauform bringt aber auch Nachteile mit sich. Da der Gehörgang bei jedem Menschen anders ausfällt, wird ein vorgeformter Stöpsel nie ganz perfekt sitzen können. Sowohl die Dämpfungsqualität wie auch der Tragekomfort leiden darunter. Bei sehr engen und verwinkelten Hörkanälen kann es sein, dass der Ohrschutz nicht eingesetzt werden kann oder für den Benutzer unangenehmen Druck ausübt. Sehr weite Gehörgänge fällt es schwer exakt abzuschließen, obwohl es verschiedene Ohrstöpselgrößen und -formen im Handel zu kaufen gibt.

Personenspezifisch-geformter Gehörschutzstöpsel/Otoplastiken

Otoplastiken sind maßangefertigte Gehörschützer aus Silikon oder Acryl, die einen hohen Tragekomfort für den Benutzer haben, bei guter Pflege langlebig und für verschiedenste Anwendungen flexibel einsetzbar sind. Otoplastiken werden von professionellen Hörgeräteaku-

stikern angefertigt, die dazu die Abformungen der beiden (unterschiedlichen) Gehörgänge des Benutzers aufnehmen. Das Ergebnis ist ein perfekt sitzender und abschließender Gehörschutz, der zudem leicht zum Einsetzen und Reinigen ist (siehe Abbildung 4.6).



Abbildung 4.6: Otoplastik der Firma Neuroth: Soundsaver[®] PRO [NEUROTH1]

In Studien über die tatsächliche Dämmung am Ohr mit nicht-individualisierten Gehörschutzstöpsel wird nur ein Drittel der unter Laborbedingungen gemessenen Dämmwerte bei den Testpersonen erreicht. In den häufigsten Fällen liegt dies an der zu geringen Einführung des Stöpsels in den Gehörgang. Da der Tragekomfort bei maßangepasstem Gehörschutz nur dann erreicht wird, wenn er zur Gänze in den Gehörgang eingesetzt wird, wirkt in der Regel der im Labor gemessene Dämmungsgrad. Zusätzlich kann der Verschlusseffekt durch eine weit in den Gehörgang reichende Otoplastik verringert werden. Sowohl der Frequenzgang wie auch die Dämpfung des ankommenden Pegels kann bei dieser Art von Gehörschützern an den jeweiligen Anwendungsbereich angepasst werden. Dazu kommen akustische Filter zum Einsatz mit unterschiedlichen Dämmungs- und Frequenzeigenschaften (siehe Abbildung 4.7).

Schutzwirkung (APV-Wert) des NEUROTH SOUNDSAVER[®] PRO

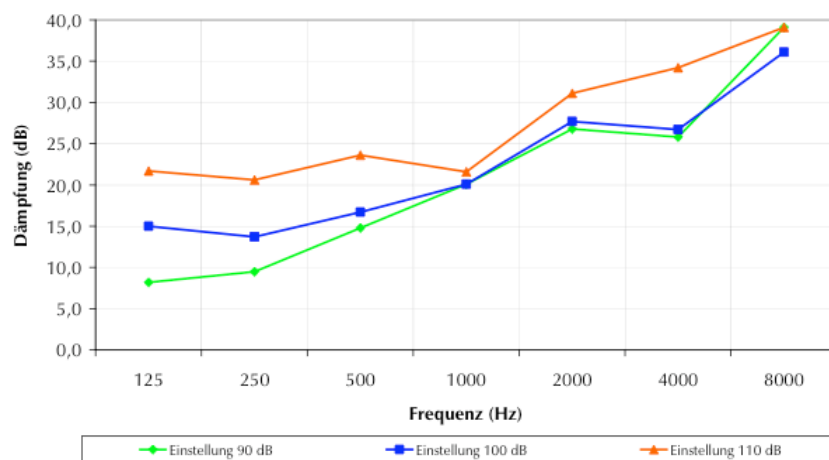


Abbildung 4.7: Frequenzgang des Soundsaver[®] PRO mit verschiedenen akustischen Filter [NEUROTH1]

Den Vorteilen des maßangepassten Gehörschutzes stehen Kosten und Herstellung gegenüber. Für jedes Ohr muss ein eigener Abdruck erfolgen, was Zeit und vor allem Geld kostet. Verglichen mit den knetbaren und vorgeformten Ohrstöpseln liegt der Preis um ein Vielfaches höher. Abhängig von den Zusatzfunktionen der Otoplastik liegt der Preis zwischen 120 und 350 Euro⁶⁸ Dieser finanzielle Mehraufwand bedeutet aber auch einen besseren und sichereren Schutz des Gehörs, der in der Regel über mehrere Jahre verwendet werden kann.

⁶⁸ Preisliste vom 01.01.2010 der Firma „derGEHÖRSCHUTZ.de“, <http://www.dergehoerschutz.de/individueller-gehoerschutz.html>

4.2.3 Aktiver Gehörschutz / Active Noise Reduction (ANR)

Schutzeinrichtungen für die Ohren, die mit Hilfe von elektronischen Schaltkreisen eine Schallpegelminderung erreichen, nennen sich aktive Gehörschützer. Dabei wird der physikalische Effekt der destruktiven Interferenz genutzt. Wird eine (Schall-)Welle durch eine amplitudengleiche, aber phaseninvertierte (Schall-)Welle – häufig auch Antischall genannt – überlagert, so löschen sie sich gegenseitig aus. Für den aktiven Gehörschutz bedeutet das, dass der ankommende Schall mittels eines Mikrofons an der Außenseite des Gehörschützers erfasst wird und über einen intern verbauten Lautsprecher phaseninvertiert und pegelangepasst an das Ohr weitergegeben wird. Somit kann in der Theorie eine vollständige Schallauslöschung entstehen, die in der Praxis jedoch nur zum Teil erreicht werden kann.



Abbildung 4.8: Aktiver Kapselgehörschutz der Firma PELTOR[®]: ProTac [PELTOR]

ANR-Systeme werden hauptsächlich in Kapselgehörschützern verbaut und wirken zusätzlich zu dem passiven Schutz dieser. Besonders wirksam sind sie im Bereich der tiefen Frequenzen bis ca. 400 Hz mit einer zusätzlichen Reduktion von fast 20 dB, in denen der passive Gehörschutz in der Regel schlechte Dämmwerte hat. In den hohen Frequenzbereichen hingegen haben die aktiven Komponenten fast keinen Einfluss. Das Zusammenspiel des passiven und aktiven Schutzes bewirkt eine große Dämpfung über den gesamten Frequenzbereich. In der Abbildung 4.9 beschreibt der grüne Graph die Gesamtwirkung des Systems. Der Vergleich eines passiven Kapselgehörschützes mit dem aktiven zeigt jedoch, dass besonders der fürs Sprachverständnis wichtige Frequenzbereich zwischen 500 und 2000 Hz durch den passiven Gehörschutz deutlich besser vor Gehörschäden geschützt ist (blauer Graph). Ursache sind die elektrischen Komponenten, die im Inneren der Kapsel verbaut sind und daher das wirksame Volumen verkleinern.

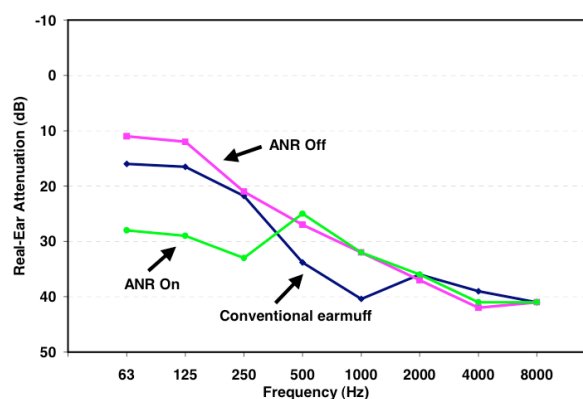


Abbildung 4.9: Frequenzgangverlauf eines passiven Kapselgehörschützes („conventional earmuff“, blau) gegenüber einem aktiven Kapselgehörschutz (grün und rosa) [BERGER2, S. 3]

Ein großer Vorteil von aktiven Gehörschützern ist, dass sie nicht nur zur Pegeldämpfung, sondern auch zur Verstärkung herangezogen werden können. Das ist besonders für leise Geräusche erwünscht, die dem Ohr keinen Schaden zufügen, aber durch die Kapselung trotzdem gedämpft werden. Bei dieser Art von Modellen wird der aufgenommene Schall für unschädliche Geräusche (< 82 dB) über den internen Lautsprecher so an das Ohr weitergeleitet, dass er vom Benutzer gut wahrgenommen werden kann. Hohe Schallpegel werden vom ANR-System als solche erkannt und dementsprechend reduziert. Dadurch bekommt man einen Pegelabhängige Verstärkungs- bzw. Dämpfungskurve.

Aktive Gehörschützer werden insbesondere in Umgebungen eingesetzt, in denen tieffrequente Geräuschanteile mit hoher Energie vorhanden sind. Die verbaute Elektronik kann auch als Kommunikationsmittel eingesetzt werden, indem Sprache oder Warnsignale direkt an die internen Lautsprecher übermittelt werden. ANR-Systeme werden mittlerweile auch in Hifi-Kopfhörern eingebaut, wobei diese keinen Schutz vor hohen Pegeln, sondern das Heruntersetzen von Umgebungsgeräuschen für den besseren Musikgenuss garantieren sollen.

Ein bedeutender Nachteil der aktiven Gehörschützer ist ihre Energieversorgung und der Anschaffungspreis. Um die aktiven Komponenten einsetzen zu können, müssen Batterien oder Akkus angeschafft werden, die regelmäßig aufgeladen werden müssen. Die Preisspanne der aktiven Gehörschützer liegt bei ca. 120 bis zu über 400 Euro. Aufgrund des hohen Preises im Vergleich zu den restlichen Gehörschützern empfiehlt es sich eine genaue Untersuchung des Geräuschspektrums zu machen, dem der Betroffene ausgesetzt ist. Nur wenn ein hoher Signalanteile bei tiefen Frequenzen liegt, die der aktive Gehörschützer besser dämpfen kann als der passive, lohnt sich die Anschaffung.

4.2.4 Gehörschutz für Arbeiter

Die richtige Auswahl des Gehörschutzes für den jeweiligen Benutzer spielt eine wesentliche Rolle zur Vermeidung von lärmbedingten Hörschäden und ist in der Norm EN 458:2005 definiert. Die Anforderung an den Schutz ist in erster Linie das Absenken des Lärmpegels auf unter 85 dB(A). Um dies zu gewährleisten, müssen Messungen der Geräusche am jeweiligen Arbeitsplatz durchgeführt werden, mit denen Aussagen über die spektrale Verteilung, die Pegel und den zeitlichen Verlauf des Signals getroffen werden können. Auf dieser Grundlage können Schutzeinrichtungen ermittelt werden, die zur nötigen Pegelreduktion führen. Der Schutz ist jedoch nur gegeben, wenn das Tragen über die gesamte Expositionsdauer erfolgt. Schon eine kurze Tragepause am gefährdeten Arbeitsplatz kann zu einer vielfach höheren Gefahr des Gehörs führen (siehe Abbildung 4.10). Das Absetzen des Schutzes erfolgt in der Regel aufgrund mangelndem Tragekomfort, schlechter Kommunikationsmöglichkeit und Ortung der Schallquellen, sowie zur Erkennung von informationshaltigen Arbeitsgeräuschen und akustischen Warnsignalen, die zur Unfallvermeidung wahrgenommen werden müssen. Daher liegt ein starkes Augenmerk auf der Akzeptanz der Schutzeinrichtung, um Hörschäden zu vermeiden. Um dies zu erreichen, genügt es nicht nur auf die Geräuschsituation am Arbeitsplatz zu achten, sondern auf die jeweiligen Tätigkeiten und das persönliche Hörempfinden des Benutzers.

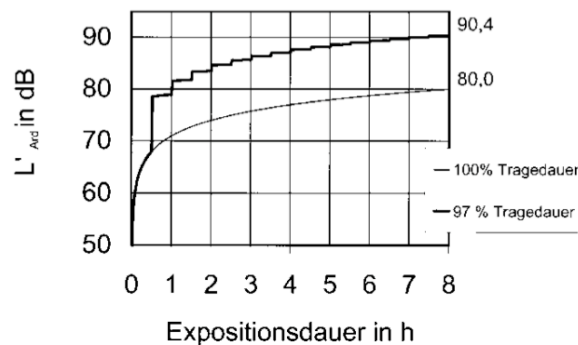


Abbildung 4.10: Gegenüberstellung des L_{Aeq} mit Gehörschutz bei 100% Tragedauer (nach 8 Stunden 80 dB) und bei 97% (nach 8 Stunden 90,4 dB) [LIEDTKE, S. 50]

4.2.4.1 Normalhörende Arbeiter

Im Folgenden werden die in der Industrie am häufigsten anzutreffenden Situationen beschrieben, denen ein Arbeiter ausgesetzt ist. Dabei wird ein Überblick über die verwendeten Gehörschützer für Normalhörende in verschiedenen Arbeitsumgebungen gegeben.

Geräuschcharakteristik

Wie bereits erwähnt, muss der Gehörschutz die Schallpegel unter den vom Gesetzgeber vorgegebenen maximalen Grenzwert (siehe Kapitel 2.1) absenken. Der Grenzwert wird in dB(A) angegeben, dem A-bewerteten Summenpegel. Die Pegel der verschiedenen Frequenzbänder werden demnach unterschiedlich gewichtet und aufsummiert. Die spektrale Zusammensetzung des Lärms spielt daher eine ausschlaggebende Rolle für die Wahl des geeigneten Gehörschutzes, da vor allem die Frequenzbereiche gedämpft werden müssen, die den größten Einfluss auf den Summenpegel haben. Insbesondere soll eine Überprotektion der Benutzer vermieden werden, da sie ein ausschlaggebender Faktor gegen die Akzeptanz der Schutzeinrichtung ist. Durch Überprotektion fühlen sich die Betroffenen häufig in der Ausübung ihrer Tätigkeiten eingeschränkt und isoliert. Kommunikation mit Mitarbeitern und die Wahrnehmung von informationsträchtigen Signalen werden dadurch erschwert. Für die richtige Wahl dienen daher die Kennwerte der Gehörschützer, die in Kapitel 4.2.1 beschrieben sind, da sie ein Maß für die Dämpfung über die Frequenzbereiche sind.

Zudem ist der energieäquivalente Dauerschallpegel und nicht der maximale Schallpegel, dem der Benutzer ausgesetzt ist, für die Wahl des Gehörschutzes heranzuziehen. Erstgenannter ist aufgrund von Arbeitspausen niedriger, wodurch ein geringerer Dämmwert gewählt werden kann als es der maximale Schallpegel zulässt. Für eine höhere Akzeptanz gilt es folglich, die Schutzeinrichtung mit dem geringsten Dämpfungsgrad auszusuchen, die das Gehör aber in jedem Fall vor einem Lärmschaden bewahrt [HARRISON]. Besonders hohe Schallpegel (>105 dB SPL) können häufig nicht mit Hilfe eines gängigen Gehörschutzes unter den gesetzlichen Höchstwert herabgesenkt werden. Für diese Arbeitsplätze, beispielsweise auf Deck eines Flugzeugträgers, kommt die Kombination aus Gehörstöpsel und Kapselgehörschutz zur Anwendung. Dabei entspricht die Gesamtdämpfung nicht der Summe der beiden Schützer. Der Grund ist die Übertragung von Schall über die Knochen und das Gewebe des Schädels, die somit eine Obergrenze der Lärmdämmung durch den Gehörschutz darstellen. Während ober-

halb von 2 kHz die Knochenleitung die Lärmdämmung auf 40 bis 50 dB begrenzt, können mittlere und tiefere Frequenzen mit bis zu 60 dB gedämpft werden. Da aus den Kennlinien der einzelnen Schützer keine Aussage über die kombinierte Dämmung getroffen werden kann, muss die Übertragungskennlinie für jedes Paar gesondert ermittelt werden (siehe Abbildung 4.11) [BERGER1].

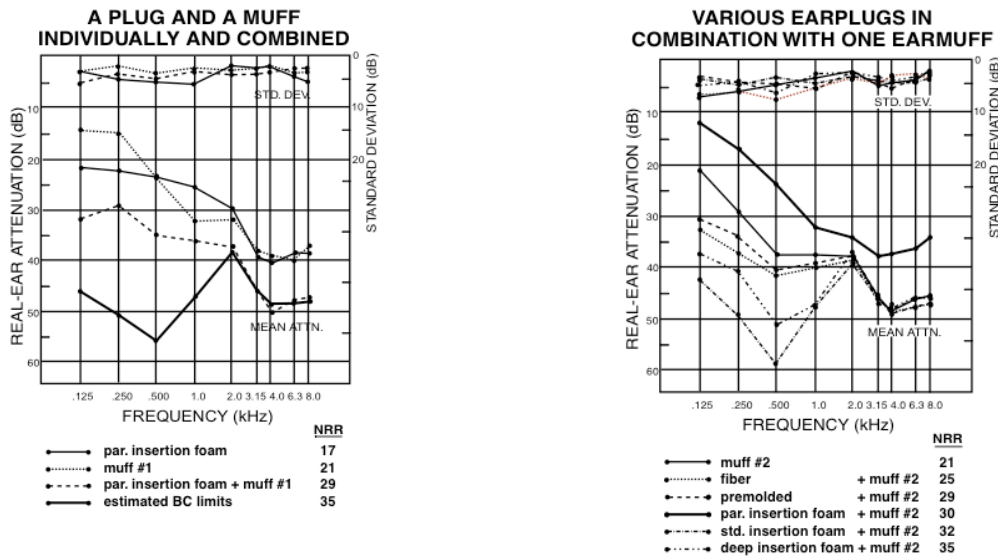


Abbildung 4.11: Frequenzgang verschiedener Gehörschützer:

links: Gehörschützer jeweils einzeln und in Kombination, zusätzlich geschätzter Knochenleitungsfrequenzgang (BC)

rechts: verschiedene Gehörschutzstöpsel kombiniert mit einem Kapselgehörschutz

Für stationären Dauerlärm, wie er in vielen Lärmbetrieben vorkommt, gibt es eine große Auswahl an Gehörschützern. Gewöhnliche Kapselgehörschützer wie auch Gehörschutzstöpsel sind in der Regel dafür geeignet, wobei Erstgenannte besonders bei hohen Pegeln Verwendung finden. Beide Arten dämpfen in der Regel die hohen Frequenzen stärker, die normalerweise zuerst durch Dauerbeschallung im Innenohr in Mitleidenschaft gezogen werden und lästiger in der Wahrnehmung sind. Für Arbeitsplätze, an denen besonders tieffrequenter Schall mit hoher Energie den Lärm prägt, kann der Einsatz von aktiven Kapselgehörschützern vorteilhaft sein. Aktive Systeme, wie sie in Kapitel 4.2.3 beschrieben sind, beschränken tiefe Frequenzanteile effektiver und finden beispielsweise in der Luftfahrt Verwendung. In der Industrie werden selten Schützer mit Geräuschunterdrückung eingesetzt, da sie zwar tiefe Frequenzen bis zu 400 Hz besser, den Bereich der mittleren Frequenzen jedoch schlechter als passive Gehörschützer dämpfen. Außerdem kann auch durch die Kombination von Kapsel- und Stöpselschutz eine starke Dämpfung in tiefen Frequenzen erreicht werden, die erheblich kostengünstiger ausfällt [BERGER2]. Erste Prototypen aktiver Gehörschutzstöpsel mit Geräuschunterdrückung wirken bis zu 1 kHz und beheben dadurch die mäßige Dämpfung der mittleren Frequenzen der aktiven Kapselgehörschützer. Durch verbesserte Wandler und Signalverarbeitung kann nach Modellrechnungen der effektive Frequenzbereich in Zukunft auf 4 kHz angehoben werden, wodurch der sehr empfindliche und anfällige Hörbereich zwischen 1 und 4 kHz sehr viel besser vor Lärmschäden geschützt wird [LIEDTKE].

Handelt es sich beim Arbeitslärm um impulsive oder intermittierende Signale, wie sie in der metallverarbeitenden Industrie oder beim Gebrauch von Schusswaffen anzutreffen sind, ist das Gehör des Betroffenen während der energiereichen Impulse gefährdet, in den Pausen zwi-

schen den einzelnen jedoch nicht. Bei Verwendung von herkömmlichen Schützern werden jedoch nicht nur die Schalldruckspitzen begrenzt, sondern der gesamte Schallpegel erheblich gesenkt, wodurch das Gefühl der Überprotektion entsteht. Insbesondere leidet die Kommunikation darunter, weshalb pegelabhängige Protektoren zum Einsatz kommen. Diese gibt es sowohl in passiver wie auch in aktiver Bauform. Passive pegelabhängige Gehörschützer besitzen ein nicht-lineares Element, das hohe Pegelspitzen stärker dämpft als geringe. Dadurch entstehen Dämmwerte zwischen 8 und 25 dB, abhängig vom Impulspegel⁶⁹. Die Funktionsweise der aktiven pegelabhängigen Gehörschützer ist im Kapitel 4.2.3 bereits beschrieben. Leise Pegel werden soweit verstärkt und über den internen Lautsprecher an das Ohr geleitet, dass sie vom Benutzer gut wahrgenommen werden, während laute Pegel durch die passive Dämmung unter den gesetzlichen Höchstwert abgesenkt werden.

Kommunikation

Ein wichtiges Thema bei der Auswahl des geeigneten Gehörschutzes ist die Fähigkeit der Kommunikation mit Mitarbeitern. Besonders bei umfangreichen Arbeitsanwendungen, die nicht alleine durchgeführt werden können, sowie bei der Aus- und Weiterbildung an lärmgefährdeten Arbeitsplätzen muss es die Möglichkeit der sprachlichen Verständigung geben. Sprache hat üblicherweise eine Dynamik von ca. 30 dB, die dem Zuhörer für beste Sprachverständlichkeit unverzerrt und in vollem Umfang zur Verfügung stehen muss. Das Sprachsignal muss am Ohr des Benutzers mindestens 50 dB(A) erreichen, damit keine Signalanteile unter die physische Hörschwelle des Hörers fallen und somit nicht mehr wahrgenommen werden. In seltenen Fällen kann die Verwendung von frequenzabhängiger Pegeldämmung als Schutzeinrichtung erfolgen. Dafür darf das zu begrenzende Geräusch in dem für die Sprachverständlichkeit wichtigen Frequenzbereich (500 bis 2000 Hz) nahezu keine Signalanteile besitzen. Durch die Wahl des geeigneten Frequenzgangs, der nur den Pegel der Störgeräusche dämmt, kann der SNR (Signal-Rauschabstand) erhöht werden und die Sprache wird besser verständlich. Durch den veränderten Frequenzgang wirkt jedoch das Hörempfinden verzerrt, worunter die Akzeptanz für solche Schutzeinrichtungen stark leidet.

Für breitbandige, dauerhafte Geräusche über 85 dB(A) kann der Einsatz von Gehörschutz nicht nur das Gehör vor Schäden bewahren, sondern auch die Kommunikationsfähigkeit steigern. Der Grund ist die Dämmung des Pegels, weshalb der Verdeckungseffekt verringert wird. Dadurch werden benachbarte Frequenzen weniger stark maskiert und sind folglich für den Hörer besser wahrzunehmen. Zusätzlich wird einer Hörermüdung und der Übersteuerung des Ohres mit Hilfe des Gehörschutzes entgegengewirkt. Diese Verbesserung der Sprachverständlichkeit ist umso größer, je linearer der Gehörschutz über alle Frequenzen dämpft. Da Gehörschutzstöpsel in der Regel bis zu 4 kHz einen deutlich lineareren Frequenzgang als Kapselgehörschützer haben, werden sie bevorzugt verwendet. Die schlechtere Pegeldämmung der Kapselschützer im tieffrequenten Hörbereich bewirkt nämlich eine größere Verdeckung der für die Sprachverständigung wichtigen mittleren und hohen Frequenzen. Dadurch sinkt das Kommunikationsvermögen beim Tragen des Kapselschutzes unter das eines ungeschützten Ohrs, weshalb die Verwendung des Gehörschutzes verweigert wird. Die beste Lösung für Dauerpegel zwischen 85 und 100 dB(A) sind die im Kapitel 4.2.5 vorgestellten Otoplastiken, die auf Grund ihrer Linearität bei guter Dämmung beliebt sind.

⁶⁹ Vgl. [EARfoon]: Datenblatt zum pegelabhängigen Gehörschutzstöpsel „Shotprotector“

Für intermittierenden Lärm werden pegelabhängige Gehörschützer empfohlen. Dadurch soll in den Lärmpausen die Kommunikation so wenig wie möglich durch den Schützer beeinträchtigt werden. Da pegelabhängige Gehörschützer nur vor kurzzeitig hohen Pegeln schützen, dürfen sie nicht für dauerhafte Geräusche verwendet werden. Besonders aktive Systeme können ihre Vorteile bei intermittierendem Lärm ausspielen. Durch die Verstärkung der leisen Pegel wird der SNR vergrößert und das Sprachsignal auf mindestens 50 dB(A) angehoben. Die Verstärkung wird mit zunehmendem Schallpegel heruntergeregelt und ab 85 dB(A) ist sie deaktiviert. Es wirkt dann ausschließlich der passive Dämmschutz. Somit ist in den Lärmpausen die Kommunikation gewährt, während das Ohr vor lauten kurzen Pegeln geschützt bleibt. Schwierig beim Entwurf eines solchen aktiven Systems ist der Übergangsbereich zwischen Verstärkung und passivem Schutz. Dabei kommt es zu nicht-linearen Verzerrungen, die die Sprachwahrnehmung deutlich beeinflussen. Pendelt das Sprachsignal um diesen Grenzwert herum, so wird zusätzlich die Dynamik eingeschränkt und somit auch die Natürlichkeit der Sprache beeinflusst. Aktive Systeme mit Geräuschunterdrückung (ANR) erreichen jedoch unter Lärmeinfluss signifikante Verbesserungen in der Sprachwahrnehmung. Durch das Auslösen insbesondere der tiefen Frequenzen erhöht sich der SNR und die Maskierung höherer Frequenzen wird verringert. Die in zahlreichen Studien⁷⁰ ermittelten Ergebnisse von aktiven und passiven pegelabhängigen Gehörschützern sind jedoch nicht immer konsistent. Das liegt an einem fehlenden Prüfverfahren, das ein solcher Gehörschutz speziell für die Tauglichkeit von Kommunikation durchlaufen müsste.

Gehörschützer haben nicht nur Einfluss auf den Hörer, sondern auch auf den Sprecher. Dieser senkt seinen Sprachpegel um bis zu 4 dB ab, wodurch der SNR zwischen Sprachsignal und Störgeräuschen auch verringert wird. Die Folge ist eine um 10-40% verschlechterte Sprachwahrnehmung auf Seiten des Hörers. Der Grund für das leisere Sprechen ist die veränderte Wahrnehmung der eigenen Sprache. Ohne Gehörschutz dient dem Sprecher in erster Linie der Luftschall des Sprachsignals als Information über seine eigene Sprachlautstärke, die er je nach Umgebungssituation anpasst. Gleichzeitig wird aber auch über die Knochenleitung und die eustachische Röhre der Schall an das Innenohr geleitet. Die Benutzung des Gehörschutzes begrenzt nicht nur die Umgebungsgeräusche, die an das Ohr kommen, sondern auch den Luftschall der eigenen Sprache. Hingegen ist die Leitung über die Knochen und die eustachische Röhre unverändert. Der Sprecher nimmt daher seine Stimme lauter wahr und passt sie seinem gewohnten Empfinden an. Die Kommunikation muss geübt werden und dieser Effekt bekannt sein, um einer zusätzlichen Verschlechterung des Sprachverständnisses entgegen zu wirken [LAZARUS].

Ein Sonderfall sind Gehörschützer mit integrierter Spracheinrichtung, wie sie unter anderem im Flugverkehr und auf Bühnen eingesetzt wird. Das Sprachsignal wird mit einem Mikrofon aufgezeichnet und über Kabel oder Funk direkt an die Lautsprecher im Gehörschutz geleitet. Diese Systeme sind aufgrund ihres Preises normalerweise nicht in der Industrie einsetzbar.

Tragekomfort

Der Tragekomfort eines Gehörschutzes ist vom jeweiligen Benutzer abhängig und muss durch Tests verschiedener Schützer gefunden werden. Grundsätzlich sind Gehörschutzstöpsel angenehmer als Kapselgehörschutz. Wie bereits angeführt, übt Letztgenannter Druck auf den Kopf

⁷⁰ Vgl. [LAZARUS]: Tabelle 8.1.3-1., S. 398f

aus und der Benutzer fängt unter der Kapsel an zu schwitzen. Daher werden Kapselgehörschützer nicht für Dauereexposition empfohlen, sondern eignen sich besser in Arbeitsumgebungen, bei denen die Schutzeinrichtung häufig auf- und abgesetzt wird. Er sollte auch nicht bei hohen Temperaturen und Feuchtigkeit eingesetzt werden, um die Schweißentstehung zu vermeiden. In Kombination mit Brille, Bart oder langen Haaren kann nicht nur der Dämpfungsgrad sinken, sondern auch der Tragekomfort.

Die Gehörschutzstöpsel erreichen ähnliche Dämmwerte wie Kapselgehörschützer und sind in verschiedensten Formen erhältlich. Daher sollte für jegliche Tätigkeit und Bedürfnisse der Arbeiter ein geeigneter Schützer zu finden sein. Die so genannten Bügelstöpsel, die aus zwei vorgeformten Gehörschutzstöpseln - verbunden durch einen Bügel - bestehen, eignen sich besonders für Arbeitsbereiche, bei denen der Schutz öfter auf- und abgesetzt werden muss. Problematisch ist jedoch der Bügel, da dessen Berührungen direkt auf das Ohr übertragen werden, wodurch unangenehme Schalldrücke entstehen können. Bei Unverträglichkeit von Stöpseln oder Entzündungen des Gehörgangs muss jedoch auf den Kapselgehörschutz zurückgegriffen werden.

In der Regel haben Otoplastiken den höchsten Tragekomfort und überzeugen auch in ihren Dämmwerten. Zudem werden sie aufgrund der Anpassung an den jeweiligen Gehörgang mit größerer Sicherheit korrekt eingesetzt. Eine Software, mit deren Hilfe der geeignete Gehörschutz je nach Tätigkeit und Lärmexposition gefunden werden kann, steht auf der Internetseite des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) zur Verfügung⁷¹.

4.2.4.2 Hörgeschädigte Arbeiter

Jahrelange Missachtung der Geräuschpegel, ototoxische Stoffe, Entzündungen und das Alter sind ein sehr häufiger Grund für Hörschäden bei Arbeitern. Während dies für Musikschafter die Arbeitsunfähigkeit bedeuten kann, kann ein Arbeiter in der Regel seine Tätigkeit fortsetzen. Es gilt jedoch diesen Hörschaden so gering wie möglich zu halten und einen passenden Gehörschutz zu finden. Während die Norm EN 458:2005 für Normalhörende Angaben über Gehörschützer in verschiedenen Tätigkeitsfeldern macht, gibt es keine expliziten Informationen für Hörgeschädigte.

Leidet ein Arbeiter an einem Schalleitungshörschaden, bedeutet dies, dass der Schalldruck durch das Außen- und Mittelohr eine Dämpfung erfährt. Die Gründe für einen solchen Schaden sind im Kapitel 3.1 zusammengefasst. Diese Schalldämmung muss in der Auswahl des Gehörschutzes berücksichtigt werden, da sonst eine Überprotektion des Gehörs entsteht. Dafür müssen von beiden Ohren Audiogramme erstellt werden und es muss die Schalleitungsschwerhörigkeit bestätigt werden, damit nicht das Innenohr durch zu geringe Protektion einen Schaden erfährt. Komplexer wird die geeignete Wahl bei einem Schallempfindungshörschaden. In der Regel führt ein Innenohrschaden nicht nur zu einer frequenzabhängigen schlechteren Hörwahrnehmung, sondern auch zu einer geringeren Dynamik des Hörbereichs (positives Recruitment). Dadurch werden für den Betroffenen besonders laute Pegel unerträglich und müssen stärker als bei Normalhörenden gedämmt werden. Die leisen Pegel, die durch

⁷¹ Software zur Auswahl von Gehörschützern (<http://www.dguv.de/ifa/de/prax/softwa/psasw/index.jsp>, 11.10.2010)

den Hörschaden schon gedämpft sind, werden jedoch zusätzlich abgesenkt. Der ideale Gehörschutz muss daher sowohl leise Pegel anheben, als auch laute Pegel absenken. Die Verwendung von pegelabhängigen Schützern kann aber nur für intermittierende Schallquellen empfohlen werden, wobei eine individuelle Anpassung des Kennlinienverlaufs je nach Dynamikeinschränkung zusätzlich erfolgen müsste. Ein solcher Gehörschutz ist nicht auf dem Markt, daher wird mit einem herkömmlichen Gehörschützer ein größerer Hörschaden vorgebeugt [WEINSHEIMER].

In Hinsicht auf die Sprachverständlichkeit verringert jede Art von Gehörschützern diese bei Hörgeschädigten. Insbesondere bei starkem Hörverlust erschwert eine Dämpfung des Pegels die Kommunikation erheblich. Der Gehörschutz kann teilweise den Schall unter die Hörschwelle des Benutzers senken. Besonders die wichtigen Frequenzbereiche für Sprache werden in der Regel zuerst von Hörschäden betroffen. Zusätzlich wirken tief- und mittelfrequente Geräusche als Maskierung für die höheren Frequenzen und verdecken dort die Signalanteile. Durch einen Hörschaden bedingt verschlechtert sich ferner die Frequenzauflösung des Ohrs und es entsteht ein höherer Verdeckungseffekt. Besonders negativ verhalten sich Kapselgehörschützer in Bezug auf Sprachverständlichkeit, da sie die hohen Frequenzen stark, die niedrigen nur schwach dämpfen. Für die geeignete Wahl muss daher eine minimale Pegeldämpfung gefunden werden, die das Gehör noch ausreichend vor weiteren Schäden bewahrt [LAZARUS].

4.2.5 Gehörschutz für Musikberufe

Für die Ausübung des Musikberufes ist für den Musiker, Komponisten oder auch den Toningenieur das Gehör von essentieller Bedeutung. Dem Musikschaffendem dient es aufgrund seiner Erfahrung als „Messinstrument“. Bereits kleine Hörschwächen und Abweichungen vom gewohnten Hörverhalten beeinflussen stark das Hörerlebnis und beeinträchtigen den Musikschaffenden bei der korrekten Ausübung seines Berufes. Wie bereits in Kapitel 3.2.3 erwähnt, sind Musiker häufig hohen Schallpegeln ausgesetzt, weshalb die Verwendung eines Gehörschutzes empfohlen wird. Aufgrund ihres trainierten Gehörs haben sie spezielle Anforderungen an Gehörschützer, die sich deutlich von denen der Industriearbeiter unterscheiden.

Für das Musizieren, Mischen oder Aufnehmen dient das Gehör zur Überprüfung des wiedergegebenen Schalls. Der Musikschaffende kennt sein Hörorgan sehr gut und kann mit seiner Hilfe die Musik nach verschiedenen Kriterien bewerten und auf diese reagieren. Konventionelle Gehörschützer dämpfen den Schallpegel jedoch so stark, dass es dem Benutzer schwer fällt, eine Analyse und Bewertung durchzuführen. Außerdem dämmen die herkömmlichen Schützer die hohen Frequenzen stärker als die niedrigen und verzerren dadurch das gewohnte Klangbild. Bei der Verwendung von Gehörstöpseln kommt noch hinzu, dass sie im Gehörgang sitzen und dessen Funktion beeinflussen. Der menschliche Gehörgang wirkt beim offenen Ohr als $\lambda/4$ -Resonator, da er durch das Trommelfell einer einseitig gedeckten Pfeife entspricht. Bedingt durch die Länge entsteht eine Resonanzüberhöhung zwischen 2 und 4 kHz, die eine Verstärkung von bis zu 20 dB bewirken kann. Dieser Effekt heißt „open ear gain“ (OEG) und ist von Mensch zu Mensch leicht verschieden. Die standardisierte Resonanzüberhöhung liegt knapp unter 3 kHz bei einer Verstärkung von 18 dB und ist durch die Norm IEC 60118-8:2005 als solche festgelegt. Dafür wurde auf mehrere Messungen der OEG-Werte

mittels eines KEMAR-Kunstkopfs⁷² zurückgegriffen. Kapselgehörschützer sind für Musikberufe nicht geeignet, da sie die Ohrmuschel umschließen und die Kopfübertragungsfunktion des Benutzers verändern. Zusätzlich spielt der ästhetische Aspekt bei Musikern eine Rolle, weshalb nur Gehörschutzstöpsel in Frage kommen. Das Ziel von Gehörschützern für Musikberufe ist es, den natürlichen Frequenzgang des Ohres beizubehalten, während der Pegel herabgesetzt wird.

Gehörschutzstöpsel, die für Musikerberufe geeignet sind, gibt es sowohl vorgefertigt wie auch maßangepasst. Die vorgefertigten Ohrstöpsel haben einen annähernd flachen Frequenzgang bis hin zu 6 kHz, der durch einen abgestimmten Resonator in Kombination mit einem akustischen Widerstand erreicht wird. Die Filter sind in der Regel auswechselbar und haben verschieden starke Dämmwerte. Ihr geringer Preis (zwischen 20 und 30 Euro), die Möglichkeit der Wiederverwendung bei guter Pflege und der relativ flache Frequenzgang sprechen für diese Ohrstöpsel [PATEL].

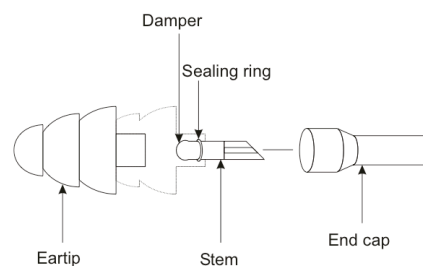


Abbildung 4.12: vorgefertigter Gehörschutzstöpsel mit speziellem Filter für Musikberufe [PATEL, S. 8]

Die sehr viel teureren angepassten Gehörschutzstöpsel für Musiker (z.B. ELACIN[®] für ca. 200 Euro das Paar) bieten einen hochwertigeren Schutz und Tragekomfort. Sie besitzen alle Vorteile der angepassten Ohrschutzstöpsel in Verbindung mit einer Frequenzantwort, die zwischen 80 Hz und 16 kHz sehr nahe an der natürlichen Übertragungskennlinie des Ohres liegt. Erreicht wird dies durch einen Helmholtzresonator im Gehörschutzstöpsel, der seine Resonanzfrequenz bei 2,7 kHz hat und somit die Resonanzüberhöhung des offenen Ohres nachbildet, wie sie in der Norm IEC 60118-8:2005 beschrieben ist. Die Nachgiebigkeit des Resonators setzt sich aus der Membran des Filters und aus dem Gehörgangsvolumen zusammen und die akustische Masse ist die im Filterkanal eingeschlossene Luft (siehe Abbildung 4.13). Der Filterkanal muss für jeden Gehörschutz im Durchmesser und in der Länge an das jeweilige Ohr angepasst werden, um die erwünschte Resonanzüberhöhung zu erhalten. Entworfen wurde dieses System von Elmer Carlson und Ende der 1980er Jahre von der Firma „Etymotic RESEARCH, INC.“ auf den Markt gebracht.

⁷² Firma G.R.A.S Sound & Vibration A/S, Dänemark

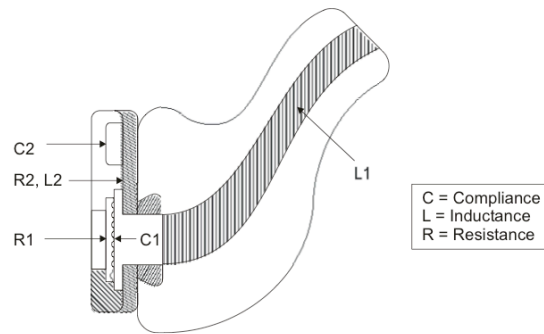


Abbildung 4.13: angepasster Gehörschutzstöpsel mit Filtertechnik der Firma „Etymotic RESEARCH, INC.“ [PATEL, S. 6]

Durch verschiedene Steifigkeiten der Filtermembran kann die Dämpfung des Pegels variiert werden. Angeboten werden drei verschiedene Filter, die jederzeit gewechselt werden können. Für nur geringe Abschwächung dient der ER-9 Filter, der in tiefen Frequenzen den Pegel um 9 dB, in hohen Frequenzen um 15 dB verringert. Der ER-15 Filter kann am genauesten den Frequenzgang des natürlichen Gehörs nachbilden, wodurch die spektrale Verteilung des Schalls und somit das Klangbild nahezu unberührt bleiben und eine gleichmäßige Lautstärkeabschwächung erzielt wird (siehe Abbildung 4.14). Für starke Dämpfung gibt es den ER-25, der besonders für hohe Pegel wie auf Rockbühnen gedacht ist [KILLION1].

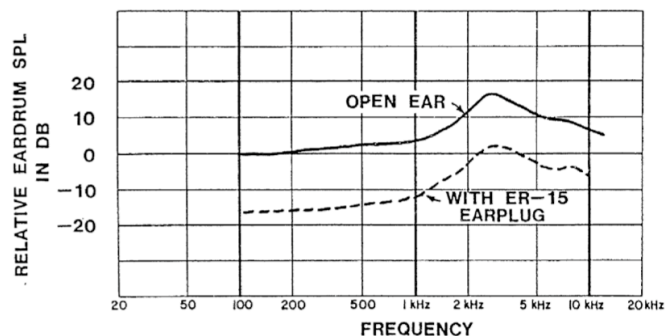


Abbildung 4.14: Vergleich der Übertragungsfunktion des offenen Ohrs mit der eines Gehörschutzstöpsels mit dem Filter ER-15 der Firma „Etymotic RESEARCH, INC.“ [KILLION2, S. 427]

Ausschlaggebend für die Qualität der angepassten Gehörschützer ist eine professionelle Oto-plastik, damit der Gehörgang vollkommen abgeschlossen wird und der Filterkanal korrekt dimensioniert ist. Nur dann stimmt die Frequenzantwort des Schützers nahezu mit der des offenen Ohrs überein. Geeignet ist dieser Gehörschutz für jeden Musikschaaffenden oder Musikliebhaber, der einen beinahe unverfälschten Klang bei hohem Tragekomfort wünscht.

Speziell für jene Musiker, deren Instrumente hauptsächlich tiefe Frequenzen abstrahlen oder nur geringe Pegel erreichen, gibt es sogenannte „maßangepasste belüftete Gehörschutzstöpsel“. Diese verfolgen nicht das Ziel, eine möglichst natürliche Übertragungsfunktion zu erreichen, sondern hochfrequente Schallanteile zu dämpfen. Besonders die Holzbläser im Orchester, die oft in der Nähe des Schlagwerks platziert sind, profitieren von einem solchen Gehörschutz. Die Übertragungskennlinie entsteht aufgrund eines Belüftungslochs, das gleichzeitig auch den Verschlusseffekt behebt. Das Belüftungsloch hat jedoch den Nebeneffekt, dass es

mit dem dahinter liegenden Luftvolumen im Gehörgang einen Resonator bildet, der eine Verstärkung im Bereich von 500 Hz nach sich zieht (siehe Abbildung 4.15, rot). Diese Eigenschaft kann aber besonders für Sänger von Vorteil sein, da sie dadurch die eigene Stimme besser vernehmen können.

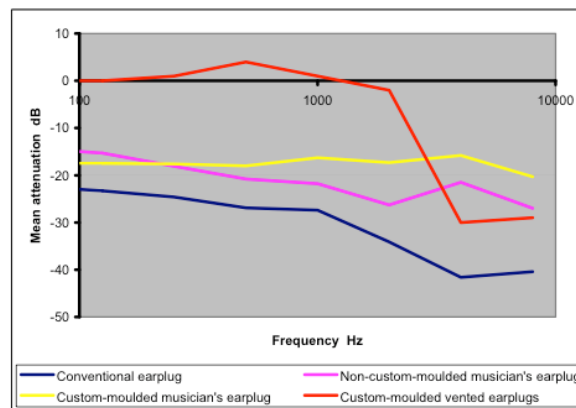


Abbildung 4.15: Gegenüberstellung verschiedener Dämpfungscharakteristiken [PATEL. S. 9]:

- rot: angepasster belüftete Gehörschutzstöpsel
- rosa: vorgeformter Gehörschutzstöpsel für Musiker
- gelb: angepasster Gehörschutzstöpsel für Musiker
- blau: herkömmlicher Gehörschutzstöpsel

Die Benutzung eines Gehörschutzes verändert immer den gewohnten Höreindruck, auch wenn der Hersteller sein Produkt mit einer konstanten Pegelreduktion über alle Frequenzen bewirbt. Daher muss sich jeder Gehörschutzbenutzer, der sich auf sein geübtes Gehör zur Ausübung des Berufes verlassen muss, an das geänderte Klangbild gewöhnen und dieses erlernen. Musiker sollten die Gehörschützer zunächst zu Hause verwenden, anschließend beim eigenständigen Proben und erst dann im Konzert. Die Eingewöhnungsphase kann dabei zwei bis drei Monate dauern.

Eine besondere Gefährdung stellt das Musizieren auf großen Veranstaltungen mit elektroakustischer Verstärkung dar. Damit die Musiker sich selber hören, werden in der Regel Bühnenlautsprecher aufgestellt, die gegen den Schallpegel des Publikums und der PA-Anlage ankommen müssen. Zusätzlich befinden sich häufig noch Verstärkereinheiten von verschiedenen Instrumenten auf der Bühne, sodass dort Pegel erreicht werden, die bleibende Hörschäden bewirken. Abhilfe leisten sogenannte „in-ear monitors“ (Ohrhörer). Es handelt sich dabei um kleine Lautsprecher, die mit Hilfe von vorgefertigten oder maßangepassten Ohrstöpseln in das Ohr eingeführt werden. Somit entfallen die Bühnenlautsprecher und zusätzlich wirken die Ohrstöpsel schalldämmend. Der Umgebungslärm wird dadurch herabgesetzt und der Musiker kann eine individuelle Mischung der Signale auf seine Ohren bekommen, unabhängig von seiner Position auf der Bühne. Da diese Ohrhörer keinen Standardtests nach einer bestimmten Norm unterzogen werden, gibt es aber keine Garantie für die von Herstellern angegebenen Dämmwerte. Trotzdem darf davon ausgegangen werden, dass Otoplastiken den Umgebungslärm stärker dämpfen als vorgeformte Ohrhörer, da sie den Gehörgang vollkommen abschließen. Es ist jedoch große Vorsicht bei der Verwendung von Ohrhörern geboten. Denn obwohl die verwendeten Lautsprecher sehr klein sind, können sie Spitzenpegel erreichen, die dem Gehör gravierende Schäden zufügen. Daher ist unbedingt die Verwendung von Limitern und Kompressoren empfohlen, die im Notfall den Signalpegel begrenzen oder verringern. Auch sollten die Benutzer solcher Systeme über deren sicheren Verwendung geschult werden.



Abbildung 4.16: InEar-Hörer mit 2 wechselbaren Dämpfungsfiler (12 und 26 dB) der Firma „Ultimate Ears“ angepasst an das Gehör

4.2.6 Gehörschutz für Freizeitaktivitäten

Das Tragen von Gehörschutz in der Freizeit ist gesetzlich nicht geregelt, da es im Ermessen jedes Einzelnen liegt für sein Gehör zu sorgen. Bei zahlreichen Freizeitaktivitäten können Pegelwerte erreicht werden, die auf Dauer zu einem Hörschaden führen können. Besonders Personen, die während ihrer Arbeit bereits schädigenden Schallpegeln ausgesetzt sind, müssen in der Freizeit eine mehrstündige Ruhephase einhalten, damit sich das Gehör regenerieren kann (siehe Kapitel 3.2.3). Handwerkliche Tätigkeiten, Musikbeschallung durch tragbare Geräte oder bei Veranstaltungen, Schusswaffen, Feuerwerkskörper und Lärmspielzeuge sind potentielle Auslöser von lärmbedingte Hörschäden in der Freizeit. Während es sich bei handwerklichen Tätigkeiten und Musikbeschallung in der Regel um Dauerlärm zwischen 90 und 110 dB(A) handelt, kann der Impulsschall von Lärmspielzeugen Pegelwerte von mehr als 135 dB(A) in der Nähe des Ohres erreichen. Beim Gebrauch von Schusswaffen (z.B. durch Sportschützen) und Feuerwerkskörper ist das Gehör noch höheren Pegeln (bis zu 173 dB(A)) ausgesetzt, die zu einem sofortigen Schaden führen können. Diese Werte zeigen die Notwendigkeit der Verwendung von Gehörschützern bei lärmhaltigen Freizeitaktivitäten [ZENNER1].

An den Gehörschutz für die Freizeit werden grundsätzlich dieselben Anforderungen gerichtet, wie an den Gehörschutz für die Arbeit: Es gilt einen Hörschaden zu vermeiden. Zwar ist die Expositionszeit in der Freizeit meist geringer als während der Arbeit, dafür werden teilweise aber gehörschädigende Schallpegel erreicht, ohne dass sie bemerkt werden. Es gilt demnach auch während der Freizeit je nach Aktivität den geeigneten Hörschutz zu finden.

Bei handwerklichen Tätigkeiten bedient der Anwender in der Regel selbst die Schallquelle. Er kann jederzeit seine Tätigkeit beenden und die Lärmquelle abschalten. Daher benötigt er nur einen herkömmlichen Gehörschutz, der ihm die Pegel auf unschädliche Werte absenkt. Anders ist dies bei Hobbyschützen, die normalerweise in Gruppen auf einem Schießplatz stehen. Durch die enormen Schallspitzen der Schusswaffen, die von benachbarten Schießständen kommen, sollte dort der Gehörschutz nicht abgesetzt werden. Die Verwendung eines pegelabhängigen Schutzes ist daher sinnvoll.

Besonders bei junge Menschen ist der Schutz des eigenen Gehörs während Musikveranstaltungen ausgesprochen wichtig. Der Besuch dauert nicht nur mehrere Stunden mit Dauerschallpegeln bis zu 100 dB(A), sondern das Gehör wird häufig auch mehrmals im Monat die-

ser Belastung ausgesetzt⁷³. Ein Gehörschützer ist unbedingt zu empfehlen, wobei dessen Art irrelevant ist, solange er den Pegel ausreichend dämpfen kann. Für Musikliebhaber hebt jedoch die Verwendung eines Schützers mit nahezu linearem Frequenzgang erheblich den Musikgenuss (siehe Kapitel 4.2.5). Es liegt jedoch am einzelnen Benutzer, wie viel Geld er bereit ist zu investieren, um sein Gehör zu schützen und die Musik so natürlich wie möglich empfinden zu können.

Ein weiteres Feld sind motorisierte Freizeittätigkeiten. Besonders beim Motorradfahren können abhängig von der Geschwindigkeit Pegelwerte erreicht werden, die für das Gehör schädigend sind. Das Windgeräusch am Helm, kann bei 160 km/h einen Schallpegel von bis zu 112 dB(A) erreichen. Daher ist bei Schnellfahrern eine gute Schalldämmung des Helms erforderlich. In der Regel reicht diese jedoch nicht aus, um die Pegel ausreichend abzusenken. Daher wird zusätzlich das Tragen von Gehörschutzstöpseln empfohlen, die aber speziell für den Straßenverkehr freigegeben sein müssen⁷⁴.

Aufgrund der vielen Lärmsituationen, denen man sich in der Freizeit aussetzt, besteht die Gefahr, einen Hörschaden zu erleiden. Das liegt besonders am Unwissen der Bevölkerung über die Auswirkungen hoher Schallpegel und seine Auswirkungen auf die Lebensqualität und das gesellschaftliche Zusammenleben. Wie beim Arbeitslärm muss jede Lärmsituation in der Freizeit für sich betrachtet werden. Abhängig von den Schallpegeln und den persönlichen Anforderungen und Hörempfindlichkeiten ist ein geeigneter Gehörschutz auszuwählen. Um diese Wahl treffen zu können, muss die Bevölkerung über den Umgang und die Bewertung von Schallquellen unterrichtet werden. Dafür sind Kampagnen notwendig, die beispielsweise in Schulen oder in Medien die Menschen über die potentiellen Gefahren des Lärms aufklären und davor warnen.

⁷³ Vgl. [BABISCH3, S.39]: I. 4.7 Besuchshäufigkeit von Diskotheken

⁷⁴ Vgl. BGIA: Positivliste für den deutschen Straßenverkehr, <http://www.ifz.de/download/ifz-PositivlisteStrassenverkehrMoto.pdf>, 28.05.2010

5 Zusammenfassung und Ausblick

Zahlreichen Studien und Arbeiten über die Problematik von Lärm und die Folgen für den Menschen haben geholfen, unsere Lebensqualität zu erhöhen. Die Festlegung von Grenzwerten und objektive Messverfahren haben besonders bei der arbeitenden Bevölkerung einen Rückgang von lärminduzierten Krankheiten bewirkt, wobei noch ein großes Potential an Verbesserungen gegeben ist. Im Gegensatz zu den Wirkungen von Lärm auf das Gehör sind die extraauralen Folgen auf den Körper nur zu einem geringen Maß erforscht, obwohl sie uns alle in Form des Umgebungslärms betreffen. Um herauszufinden, ob die im aktuellen Gesetz verankerten Grenzwerte einen hinreichenden Schutz bieten, müssen noch weitere Studien auf diesem Gebiet erfolgen.

Schwieriger gestaltet sich die Regelung des Freizeitlärms, da hier grundsätzlich die Frage aufkommt, inwieweit der Staat die Geräuschbelastung reglementieren soll, der wir uns freiwillig aussetzen. Schließlich ist niemand in Österreich oder Europa gezwungen, laute Musikveranstaltungen aufzusuchen oder Freizeitbeschäftigungen auszuüben, die dem Körper schaden könnten. Jeder kann die Entscheidung aus freien Stücken treffen. Es scheint hier jedoch noch ein großes Unwissen über den Einfluss von Lärm zu geben, was die erschreckend hohe Zahl an Hörminderungen in der heutigen Generation erklärt. Es ist deshalb sinnvoll eine Debatte anzustoßen, ob und in welchem Maß der Staat einzugreifen hat und welche Möglichkeiten es gibt, den Betroffenen die Gefahren und Konsequenzen von Freizeitlärm näher zu bringen. Als Vorbild kann die Schweiz gelten, die die Betreiber jeglicher Musikveranstaltungen in Räumen sowie im Freien verpflichtet, bei zu hohen Pegeln kostenlosen Gehörschutz bereit zu stellen und auf die erhöhte Lautstärke hin zu weisen.

Um Hörschäden zu vermeiden, kann auf eine große Anzahl von Gehörschützern zurückgegriffen werden. Über die Jahre wurden diese für fast jede Lärmsituation und Preisspanne entwickelt, um bei korrekter Anwendung einer Hörminderung vorzubeugen. Neben den üblichen passiven Gehörschützer für Arbeit- und Freizeitlärm sind für Musikberufe spezielle Optionen mit angepasstem Frequenzgang erhältlich, die den Klangeindruck bei hoher Schutzwirkung nur gering verändern. Dadurch entsteht nur eine geringe Klangfärbung, die jedoch keine große Veränderung der Hörgewohnheit bedeutet. Außerdem besteht seit der Entwicklung des aktiven Gehörschutzes die Möglichkeit, nicht nur Schall zu dämpfen, sondern durch die Verstärkung von unschädlichen Pegeln auch die Sprachverständlichkeit und Akzeptanz zu fördern. Für bereits hörgeschädigte Menschen ist eine Auswahl jedoch weiterhin schwierig. Diese haben oftmals einen stark eingeschränkten Dynamikbereich des Gehörs, wodurch die Ruheshwelle angehoben und die Schmerzgrenze abgesenkt ist. Diese Dynamikeinschränkung ist nur mit einem pegelabhängigen (passiven oder aktiven) Gehörschutz möglich, der jedoch für jeden Hörgeschädigten speziell angepasst werden müsste und in dieser Form nicht erhältlich ist. Besonders hinsichtlich der steigenden Anzahl hörgeschädigter Jugendlicher ist

die Entwicklung solcher Gehörschützer zur Vorbeugung weiterer Hörschäden sinnvoll und notwendig.

Das heutige Wissen über Hörschäden erlaubt es uns bereits in einigen Fällen, die Wahrscheinlichkeit einer Hörminderung zu verringern. Nichtsdestotrotz gibt es noch bei den meisten Hörschäden zu viele unbekannte Faktoren, um die Entstehung und den Verlauf erklären zu können und um geeignete Behandlungsmethoden zu entwickeln. Am häufigsten ist das der Fall bei den Innenohrschäden, für die es in der Regel weder eindeutige Ursachen, noch Heilverfahren gibt. Insbesondere sollte die Rolle der psychischen Belastung als Ursache einer Ohrerkrankung wie dem Hörsturz oder dem Morbus Menière eingehend erforscht werden, da immer mehr Menschen unter einem enormen Leistungsdruck stehen und unter Stresssymptomen leiden. Erst wenn die Zusammenhänge klar sind, kann die Gefahr einer Erkrankung gemindert werden. Mit Nachdruck sollte auch die Stammzellenforschung weiterbetrieben werden, die Hoffnung auf neuartige Heilverfahren für Innenohrschäden macht, die heutzutage kaum oder gar nicht behandelt werden können. Das Wissen daraus könnte auch zur Linderung von Tinnitusbeschwerden herangezogen werden, indem fehlerhafte oder zerstörte Zellen durch neue ersetzt werden.

6 Literaturverzeichnis

[ACUIN] ACUIN Jose: *Chronic suppurative otitis media*. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2004

[ARNOLD1] ARNOLD W., BUSCH R., ARNOLD A., RITSCHER B., NEISS A., Niedermeyer H.P.: *The influence of measles vaccination on the incidence of otosclerosis in Germany*. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2007;264;741–748

[ARNOLD2] ARNOLD W.: *Die Qual der Wahl bei der Behandlung des Morbus Menière*. HNO, 2001;49;3;163-165

[ASchG] Österreichisches Bundesgesetzblatt: *Bundesgesetz über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz – ASchG)*. Stand Mai 2010, § 65

[AUNG] AUNG T., MULLEY G. P.: *10-minute consultation – Removal of ear wax*. BMJ 2002;325;27

[AXELSSON] AXELSSON A., LINDGREN F.: *Hearing in classical musicians*. Acta Otolaryngol Suppl., 1981; 337:3-74

[BABISCH1] BABISCH W.: *Stress Hormones in the Research on Cardiovascular Effects of Noise*. Noise and Health, 2003;5(18):1-11

[BABISCH2] BABISCH W.: *Epidemiological Studies of the Cardiovascular effects of Occupational Noise – A Critical Appraisal*. Noise & Health, 1998;1:24-39

[BABISCH3] BABISCH W.: *Schallpegel in Diskotheken und bei Musikveranstaltungen, Teil I: Gesundheitliche Aspekte*. Deutsches Umweltbundesamt, WaBuLo-Hefte 2000, Nr. 3

[BACHMANN] BACHMANN K.D., ECKEL H., ISING H., Lehnert G., Marquardt H., PLATH P., SCHIELE H., SCHUSCHKE G., SPRENG M., STANGE G., STRUWE F., ZENNER H.P.: *Gehörschäden durch Lärmbelastungen in der Freizeit*. Deutsches Ärzteblatt, 1999;96(16):1081-1084

[BAIER] BAIER G., OTT I.: *Die chirurgische Therapie des M. Menière. Historische Entwicklung und heutiger Stand*. HNO, 2008;56;553–566

[BECKER] BECKER G.D., PARELL G.J.: *Barotrauma of the ears and sinuses after scuba diving*. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2001;258;159–163

[BELOJEVIC] BELOJEVIC G., ÖHRSTRÖM E., RYLANDER R.: *Effects of noise on mental performance with regard to subjective noise sensitivity*. Int Arch Occup Environ Health, 1992;64:293-301

- [BERGER1] BERGER E.H.: *Attenuation of Earplugs Worn in Combination with Earmuffs*. EARlog 13, URL: <http://www.e-a-r.com/pdf/hearingcons/earlog13.pdf> (Abgerufen am 11.05.2010)
- [BERGER2] BERGER E.H.: *Active Noise Reduction (ANR) in Hearing Protection: Does it Make Sense for Industrial Applications?* E·A·R Technical Rept. E·A·R 01-16/HP, 2002
- [BGB1.I/60] Österreichisches Bundesgesetzblatt: *Bundes-Umgebungslärmschutzgesetz – Bundes-LärmG*. Republik Österreich, BGB1. I Nr. 60/2005
- [BGB1.II/144] Republik Österreich: *Bundes-Umgebungslärmschutzverordnung – Bundes-LärmV, BGB1 II, 144.Verordnung*. Republik Österreich, BGB1. II Nr. 144/2006
- [BGZ] Berufsgenossenschaft: *Ototoxizität – eine neue Herausforderung bei der Prävention von Gehörschäden?* OSHA Europa, URL: http://bb.osha.de/docs/Ototoxizitaet_Summary.pdf (Abgerufen: 23. November 2009)
- [BMASK] Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz: *Lärmminderung inklusive Raumakustik*. BMASK-461.309/0003-III/2/2009
- [BMWA] Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit: *KODEX zur Lärmreduktion im Musik- und Unterhaltungssektor*. BMWA, 2007
- [BÖHME] BÖHME Susan, *Hochauflösendes Felsenbein-CT nach Stapesplastiken*. Dissertation, Med. Fakultät Halle, 2002
- [BOICE] BOICE J. D., MCLAUGHLIN J. K.: *Epidemiologic Studies of Cellular Telephones and Cancer Risk - A Review*. SSI rapport, 2002;16
- [BOOTZ] BOOTZ F.: *Otitis media und ihre Komplikationen*. Monatsschrift Kinderheilkunde, 2008;156;531-539
- [BULLA] BULLA W.A., HALL III J.W.: *Daily noise-level exposures of professional music recording engineers*. Audio Engineering Society Conventio, 1998; Paper 4792
- [CDC] Centers for Disease Control and Prevention: *Method for Calculating and Using the Noise Reduction Rating –NRR*. URL: <http://www2a.cdc.gov/hp-devices/pdfs/calculation.pdf> (Abgerufen: 04.03.2010)
- [CHRISTENSEN] CHRISTENSEN H. C., SCHÜTZ J., KOSTELJANETZ M., POULSEN H. S., THOMSEN J., JOHANSEN C.: *Cellular Telepone Use and Risk of Acoustic Neuroma*. Am J Epidemiol 2004;159:277-283
- [DANCER] DANCER A. L.: *Individual Susceptibility to NIHL and New Perspective in Treatment of Acute Noise Trauma*. RTO HFM held in Maryland and Meppen, 2000
- [DUAN] DUAN M. L., ULFENDAHL M., LAURELL G., COUNTER A. S. PYYKKÖ I., BORG E., ROSENHALL U.: *Protection and treatment of sensorineural hearing disorders caused by exogenous factors: experimental findings and potential clinical application*. Hearing Research, 2002;169:169-178

[DUNNEBIER] DUNNEBIER E.A., SEGENHOUT J.M., WIT H.P., ALBERS F.W.J.: *Two-phase endolymphatic hydrops; a new dynamic guinea pig model*. Acta Otolaryngologica 1997;117:13-19

[EAR1] Firma E·A·R[®]: E·A·R[®] Model 4000. URL: http://www.aearo.com/pdf/hearing/Muff4000_JC.pdf (Abgerufen: 11.10.2010)

[EAR2] Firma E·A·R[®]: E·A·Rsoft[™] SuperFit[™]. URL: http://www.e-a-r.info/de/Product.asp?PageNumber=238&ProductCategory_Id=96&Product_Id=193 (Abgerufen: 11.10.2010)

[EAR3] Firma E·A·R[®]: E·A·R[®] UltraFit[®] Earplugs. <http://www.aearo.com/pdf/hearing/Ultrafit.pdf> (Abgerufen: 11.10.2010)

[EARfoon] Firma EARfoon[®]: *Angepasster Gehörschutz – EARfoon Shotprotector*. URL: <http://www.individueller-gehorschutz.de/Download%20Files/Datenblatt-EARfoon-Shotprotector-angepasster-Impuls-Gehoerschutz.pdf> (Abgerufen: 11.10.2010)

[EDWARDS] EDWARDS C.G., SCHWARTZBAUM J.A, LÖNN S., AHLBORN A., FEYCHTING M.: *Exposure to Loud Noise and Risk of Acoustic Neuroma*. Am J Epidemiol, 2006;163:327-333

[EG1] Europäische Union: *Richtlinie 2003/10/EG des Europäischen Parlaments und des Rates*. Arbeitsblatt der Europäischen Union, 2003

[EG2] Europäische Union: *Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates*. Arbeitsblatt der Europäischen Union, 2002

[EG3] Europäische Gemeinschaft: *Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Lärm am Arbeitsplatz*. Richtlinie der Europäischen Gemeinschaften 86/188/EWG, 1998

[EG4] Europäische Union: *Beschluss der Kommission über Sicherheitsanforderungen, denen europäische Normen für tragbare Abspielgeräte gemäß der Richtlinie 2001/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates genügen müssen*. Amtsblatt der Europäischen Union, 2009/490/EG

[EG5] Europäische Union: *Richtlinie 2009/48/EG des europäischen Parlaments und des Rates über die Sicherheit von Spielzeug*. Amtsblatt der Europäischen Union, 2009/48/EG

[EG6] Europäische Union: *Richtlinie 2007/23/EG des europäischen Parlaments und des Rates über die Sicherheit von Spielzeug*. Amtsblatt der Europäischen Union, 2007/23/EG

[EG7] Europäische Union: *Richtlinie 2005/88/EG des Europäischen Parlaments und Rates zur Änderung der Richtlinie 2000/14/EG über die Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen*. Amtsblatt der Europäischen Union, 2005/88/EG

[EG8] Europäische Union: *Richtlinie 2000/14/EG des Europäischen Parlaments und Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen*. Amtsblatt der Europäischen Union, 2000/14/EG

[EIFF] EIFF A.W., ISING H., JANSEN G., MARTIN R., ROHRMANN B., SCHICK A., SCHÖNPFLUG W., SPRENG M.: *Belästigung durch Lärm: Psychische und körperliche Reaktionen*. Umweltministerium, Zeitschrift für Lärmbelastigung, 1990;37:1-6

[ENTUK] Seite „Tinnitus (Ringing in the ears)“. URL: http://www.entuk.org/patient_info/ear/tinnitus_html (Abgerufen: 13.10.2010)

[FARINA] FARINA A.: *A study of hearing damage caused by personal MP3 players*. AES Convention Paper 7283, 2007

[GARTH] GARTH R. J.N.: *Blast injury of the ear: an overview and guide to management*. Injury, 1995;25;6;363-366

[GATES] Gates G.A., MILLS J.H.: *Presbycusis*. Lancet, 2005;366:1111-1120

[GERSDORFF] GERSDORFF Michel, NOUWEN J., GILAIN C. DECAT M., BETSCH C.: *Tinnitus and otosclerosis*. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2000;257;314-316

[GOEBEL1] GOEBEL G., LAMPARTER U.: *Stressbedingte Aspekte des Hörsturzes*. Psychoneuro, 2004; 30 (6); 337-341

[GOEBEL2] GOEBEL F.: *Langzeitverlauf des chronischen Tinnitus bei Patienten mit Hörsturz, Lärmschädigung und M. Menière*. Fakultät für Humanmedizin TU München, 2008

[GRAYELI] GRAYELI A.B., PALMER P., HUY P.T.B., SOUDANT J., STERKERS O., LEBON P., FERRARY E.: *No Evidence of Measles Virus in Stapes Samples from Patients with Otosclerosis*. JOURNAL OF CLINICAL MICROBIOLOGY, 2000;38;7;2655–2660

[GURSKI] GURSKI R.: *Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance*. Noise and Health, 1999;3:45-56

[HANDZEL] HANDZEL O., HALPERIN D.: *Necrotizing (Malignant) External Otitis*. American Family Physician, 2003;68;2;309-312

[HARRISON] HARRISON C.: *Hearing protection attenuation – Is more really better?* OH&S Canada, 1993, URL: <http://hearingconservation.healthandsafetycentre.org/pdfs/hearing/ismorebetter.pdf> (Abgerufen am 12.05.2010)

[HARTMANN] HARTMANN M.: *Zur Physiologie des Tinnitus*. Dissertation, Ulrich-Albrecht-Universität Kiel, 2003

[HAVIA1] HAVIA M., KENTALA E., PYYKKÖ I.: *Hearing loss and tinnitus in Meniere's disease*. Auris Nasus Larynx, 2002;29;115-119

[HAVIA2] HAVIA M.: *Menière's disease prevalence and clinical picture*. Medical Faculty of the University of Helsinki, 2004

[HEIDEN] Heiden C., PORZSOLT F., BIESINGER E., HÖING R.: *Die Spontanheilung des Hörsturzes*. HNO, 2000;48;621-623

- [HOLSTEIN] HOLSTEIN J.: *Hörprobleme bei Musikern*. Institut für Musikermedizin, Freiburg, Dissertation 2008
- [HONG] HONG O.S.: *Hearing loss among operating engineers in American construction industry*. Int. Arch. Occup. Environ. Health, 2005;78:565-574
- [HORNER1] HORNER K.C., CAZALS Y.: *Stress in Hearing and Balance in Ménière's Disease*. Noise & Health, 2003;5;20:29-34
- [HORNER2] HORNER K.C.: *The emotional ear in stress*. Neuroscience and biobehavioral reviews, 2003;27;5;437-446
- [HOWARD1] HOWARD M.L.: *Middle Ear, Tympanic Membrane, Perforations*. Bearbeitungsstand: 06 Oktober 2008. URL: <http://emedicine.medscape.com/article/858684-overview> (Abgerufen: 24. August 2009, 13:15 UTC)
- [IRLA] IRLA M.: *Komplikationen der Otitis media bei Kindern*. FORUMnews - Zeitschrift Forum für Praxispädiatrie, 2006;Sommer/06;16-19
- [JANSEN] JANSEN E.J.M., HELLEMAN H.W., DRESCHLER W.A., DE LAAT J.A.P. M.: *Noise induced hearing loss and other hearing complaints among musicians of symphony orchestras*. Int. Arch. Occup. Environ. Health, 2009;82:153-164
- [KÄHÄRIT] KÄHÄRIT K., ZACHAU G., EKLÖF M., SANDSJÖ L., MÖLLER C.: *Assessment of hearing and hearing disorders in rock/jazz musicians*. Int. J. Audiol., 2003;42(4):279-288
- [KANICK] KANICK S.C., DOYLE W.J.: *Barotrauma during air travel: predictions of a mathematical model*. J Appl Physiol, 2005;98;1592-1602
- [KAREGEANNES] KAREGEANNES J.C.: *Incidence of bony outgrowths of the external ear canal in US Navy divers*. Undersea Hyperbaric Med, 1995;22(3);301-306
- [KEMPEN] van KEMPEN E., KRUIZE H., BOSHUIZEN H., AMELING C., STAATSEN B., de HOLLANDER A.: *The Association between Noise Exposure and Blood Pressure and Ischemic Heart Disease: A Meta-analysis*. Environmental Health Perspectives, 2002;110(3):307-317
- [KFG] Österreichisches Bundesgesetzblatt: *Kraftfahrgesetz 1967 – KFG 1967*. Republik Österreich, BGB1. Nr. 267/1967 (zuletzt geändert durch BGB1. I Nr. 6/2008)
- [KILLION1] KILLION M.C., DEVILBISS E., STEWART J.: *An Earplug With Uniform 15-dB Attenuation*. The Hearing Journal, 1988;41(5):14-17
- [KILLION2] KILLION M.C.: *The Parvum Bonum, Plus Melius Fallacy in Earplug Selection*. Recent Developments in Hearing Instrument Technology: 15th Danavox Symposium. Copenhagen, 1993:415-433
- [KIM] KIM C.W., OH S.J., KANG J.M., AHN H.-Y.: *Multiple osteomas in the middle ear*. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2006;263:1151-1154

- [KÖCKEMANN] KÖCKEMANN R.: *Extraaurale Wirkung von appliziertem Schall*. Medizinische Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 2002
- [KORN] KORN B.: *Vergleich der Lärmempfindlichkeit mit den subjektiven Angaben zur Lärmbelastung am Arbeitsplatz im Rahmen der Lärmstudie Berlin*. Medizinische Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin, 2008
- [KREJCI] KREJCI P.M.: *Psychoakustik, Skriptum*. Skriptenreferat der Hochschülerschaft Graz, 2000
- [KUMAR] KUMAR S., KUMAR M., LESSER T., BANHEGYI G.: *Foreign bodies in the ear: a simple technique for removal analysed in vitro*. *Emerg. Med. J.* 2005;22;266-268
- [LAI] Länderausschuss Immissionsschutz: *Optionen zum Schutz des Publikums von Veranstaltungen (einschließlich Diskotheken) vor gehörgefährdenden Schalleinwirkungen*. Bericht der Arbeitsgruppe „Diskothekenlärm“, 2004
- [LAMM1] LAMM K., MICHAELIS C., DEINGRUBER K., SCHELER R., STEINHOFF H.-J., GRÖBER I., HUTH M., KUTSCHER C., ARNOLD W.: *Innenohrschäden durch Freizeitlärm und Breitbandrauschen*. *HNO* 2004;52:301-310
- [LAMM2] LAMM K., ARNOLD W.: *Successful Treatment of Noise-Induced Cochlear Ischemia, Hypoxia, and Hearing Loss*. *Ann N Y Acad Sci.*, 1999;884:233-248
- [LAZARUS] LAZARUS H., SUST C.A., STECKEL R., KULKA M., KURTZ P.: *Akustische Grundlagen sprachlicher Kommunikation*. Springer Berlin Heidelberg, 2007:387-423
- [LECHNER1] LECHNER C.: *Lärmschutzrichtlinie für Freiluftveranstaltungen*. Österreichisches Umweltbundesamt, 2000;M-122
- [LECHNER2] LECHNER C.: *Praxisleitfaden Gastgewerbe*. Forum Schall, Umweltbundesamt, 2008
- [LIEDTKE] LIEDTKE M.: *Neue Entwicklungen beim Gehörschutz*. *Technische Überwachung* 44, 2003;3:50-53
- [MAIA] MAIA J.R.F., RUSSO I.C.P.: *Study of the hearing of rock an roll musicians*. *Pro-Fono Rev. De Atualizacao Cientifica*, 2008;20(1):49-54
- [MARKOU] MARKOU K., GOUDAKOS J.: *An overview of the etiology of otosclerosis*. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2009;266;25-35
- [MATHISKE-SCHMIDT] MATHISKE-SCHMIDT K.: *Funktionelle Störungen der Halswirbelsäule bei Tinnitus-erkrankungen*. Dissertation, Medizinische Fakultät Charité Berlin, 2008
- [MAZUREK] MAZUREK B., STÖVER T., HAUPT H., GROSS J., SZCZEPEK A.: *Die Entstehung und Behandlung der Presbyakusis*. *HNO*, 2008;56:429-435
- [MCKINLEY] MCKINLEY R., BJORN V.: *Passive Hearing Protection Systems and Their Performance*. NATO Research and Technology Organisation RTO-EN-HFM-111, 2004

- [MILLER] MILLER V. L., STEWART M., LEHMAN M.: *Noise Exposure Levels for Student Musicians*. *Medical Problems of Performing Artists*, 2007;22(4):160-164
- [MLYNSKI] MLYNSKI R., RADELOFF A., BRUNNER K., HAGEN R.: *Exostosen des äußeren Gehörgangs*. *HNO*, 2008;56:410–416
- [MRG] Österreichisches Bundesgesetzblatt: *Mietrechtsgesetz – MRG*. Republik Österreich, BGB1. Nr. 520/1981
- [MULLER] MULLER C., VRABEC J., QUINN F.B.: *Sudden Sensorineural Hearing Loss*. Grand Rounds Presentation, UTMB, Dept. Of Otolaryngology, 2001
- [NAMBA] NAMBA S.: *Annoyance caused by noise: Definition and psychological measurement*. Takarazuka University of Art and Design, 2002
- [NELSON] NELSON D.I., NELSON R.Y., CONCHA-BARRIENTOS M., FINGERHUT M.: *The global burden of occupational noise-induced hearing loss*. WHO, URL: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/global/6noise.pdf (Aufgerufen: 02.11.09, 20:22 UTC)
- [NEUROTH1] Firma NEUROTH: *Neuroth Soundsaver® PRO – Datenblatt*. URL: http://www.neuroth-gehorschutz.at/images/content/pdfs/SoundsaverProDatenblatt_Nov09_MA.pdf (Abgerufen: 11.10.2010)
- [NIOSH] National Institute for Occupational Safety and Health: *Criteria for a recommended Standard: Occupational Noise Exposure – Revised Criteria 1998*. NIOSH Pub. No. 98-126
- Norm DIN 15905-5:2007-11: *Veranstaltungstechnik – Tontechnik – Maßnahmen zum Vermeiden einer Gehörgefährdung des Publikums durch hohe Schallemissionen durch elektroakustische Beschallungstechnik*.
- Norm EN 352-1:2002: *Gehörschützer - Allgemeine Anforderungen - Teil 1: Kapselgehörschützer*
- Norm EN 352-2:2002: *Gehörschützer - Allgemeine Anforderungen - Teil 2: Gehörschutzstöpsel*
- Norm EN 458:2005: *Gehörschützer - Empfehlungen für Auswahl, Einsatz, Pflege und Instandhaltung – Leitfaden*
- Norm EN 13819-1:2002: *Gehörschützer - Prüfung - Teil 1: Physikalische Prüfverfahren*
- Norm EN ISO 4869-2:1995/AC:2007: *Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn*
- Norm IEC 60118-8:2005: *Akustik - Hörgeräte - Teil 8: Verfahren zur Messung der Übertragungseigenschaften von Hörgeräten unter simulierten In-Situ-Bedingungen*
- Norm ÖNORM S 5021: *Schall-technische Grundlagen für die örtliche und überörtliche Raumplanung und Raumordnung*.

- [OLSZEWSKA] OLSZEWSKA E., WAGNER M., BERNAL-SPREKELSEN M., EBMEYER J., DAZERT S., HILDMANN H., SUDHOFF H.: *Etiopathogenesis of cholesteatoma*. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2004;261;6–24
- [OSGUTHORPE] OSGUTHORPE J.D., NIELSEN D.R.: *Otitis Externa: Review and Clinical Update*. American Family Physician, 2006;74;9;1510-1516
- [OSTRI] OSTRI B., ELLER N., DAHLIN E., SKYLV G.: *Hearing impairment in orchestral musicians*. Scand. Audiol., 1989;18:243-249
- [PATEL] PATEL J.: *Musicians' hearing protection – A review*. Health and Safety Executive, Research Report 664, 2008
- [PATSCHEKE] PATSCHEKE J.H.: *Hörsturz und prothrombotische genetische Risikofaktoren*. Inaugural-Dissertation, Med. Fakultät Tübingen, 2004
- [PAU] PAU H.W.: *Seröse Otitis media und Seromukotympanon*. Monatsschrift Kinderheilkunde, 2008;156;550-560
- [PAYER] PAYER P.: *Vom Geräusch zum Lärm – Zur Geschichte des Hörens im 19. und frühen 20. Jahrhundert*. URL: http://www.stadtforschung.at/downloads/Geraeusich_zum_Laerm.pdf (Abgerufen: 21.10.2010)
- [PELTOR]: Firma PELTOR®: *Peltor ProTac*. URL: <http://www.peltor.se/Admin/files/20060224085217.pdf> (Abgerufen: 11.10.2010)
- [PLONTKE] PLONTKE S. K.: *Aktuelle Aspekte zum Morbus Menière*. HNO, 2007;55;12-14
- [PyroTG] Österreichisches Bundesgesetzblatt: *Pyrotechnikgesetz 2010 und Änderung des Sicherheitspolizeigesetzes*. Republik Österreich, BGBl. I Nr. 131/2009
- [REIßHAUER] REIßHAUER A., MATHISKE-SCHMIDT K., KÜCHLER I., UMLAND G., KLAPP B.F., MAZUREK B.: *Funktionsstörungen der Halswirbelsäule bei Tinnitus*. HNO, 2006;54:125-131
- [ROYSTER] ROYSTER J.D., ROYSTER L.H., KILLION M.C.: *Sound exposures and hearing thresholds of symphony orchestra musicians*. J. Acoust. Soc. Am., 1991;89:2793-2803
- [RUTKA] RUTKA J.: *Hearing Loss and Tinnitus*. Workplace Safety and Insurance Appeals Tribunal, Ontario, 2003
- [RW30] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: *Lärmschutz an Maschine und Arbeitsplatz – Vorschriften, technische Regeln, Gefährdungsbewertung*. Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH, 2004
- [RYBAK] RYBAK L.P., WHITWORTH C.A.: *Ototoxicity: therapeutic opportunities*. Drug Discovery Today, 2005;10 (19):1313-1321
- [SANDER] SANDER Robert: *Otitis Externa: A Practical Guide to Treatment and Prevention*. American Family Physician, 2001;63;5;927-936

- [SAUNDERS] SAUNDERS J.E., LUXFORD W.M., DEVGAN K.K., FETTERMAN B.L.: *Sudden hearing loss in acoustic neuroam patients*. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1995;113:23-31
- [SCHIMANSKI] SCHIMANSKI G.: *Die Steigbügeloperation bei Otosklerose – Überlegung zu Operationstechnik und Prothesenwahl*. *HNO*, 1998;46:289-295
- [SCHIRMER] SCHIRMER W.: *Technischer Lärmschutz : Grundlagen und praktische Maßnahmen zum Schutz vor Lärm und Schwingungen von Maschinen*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2006:1-16
- [SchIV] Österreichisches Bundesgesetzblatt: *Schieneverkehrslärm-Immissionsschutzverordnung – SchIV*. Republik Österreich, BGB1. Nr 415/1993
- [SchLV] Österreichisches Bundesgesetzblatt: *Schienefahrzeug-Lärmzulässigkeitsverordnung – SchLV*. Republik Österreich, BGB1. Nr 415/1993
- [SCHMUZIGER] SCHMUZIGER N., PATSCHEKE J., PROBST R: *Hearing in nonprofessional pop/rock musicians*. *Ear and Hearing*, 2006;13(3):22
- [SCHÖNROWSKI] SCHÖNROWSKI R: *Zur Entwicklung der Akustikusneurinomtherapie – von den Anfängen bis zur Gegenwart*. Inaugural-Dissertation, Medizinische Fakultät Ruhr-Universität Bochum, 2005
- [SCHUKNECHT] SCHUKNECHT H. F.: *Presbycusis*. *Laryngoscope*, 1955;65:402-419
- [SHARP] SHARP J.F., WILSON J.A., ROSS L., BARR-HAMILTON R.M.: *Ear wax removal: a survey of current practice*. *BMJ* 1990;301;1251-3
- [SHEMIRANI] SHEMIRANI N.L., SCHMIDT M., FRIEDLAND D.R.: *Sudden sensorineural hearing loss: An evaluation of treatment and management approaches by referring physicians*. *Otolaryngol Head Neck Surg.*, 2009;140(1);86-91
- [SIEMENS] Seite „Schallleitungsschwerhörigkeit (konduktiver Hörverlust)“. URL: <http://hearing.siemens.com/ch-de/05-das-hoeren/02-hoerminderung-verstehen/01-hoerverlust/02-arten-von-hoerverlust/01-schallleitungsschwerhoerigkeit/schallleitungsschwerhoerigkeit.jsp> (Abgerufen: 13.10.2010)
- [SINCLAIR] SINCLAIR S.: *Preferred Practice Guideline for Cerumen Management*. College of Audiologists and Speech-Language Pathologists of Ontario (Caslpo), 2005
- [SLV] Bundesamt für Gesundheit: *Verordnung über den Schutz des Publikums von Veranstaltungen vor gesundheits- gefährdenden Schalleinwirkungen und Laserstrahlen (SLV)*. Die Bundesbehörde der Schweizerischen Eidgenossenschaft, 2007
- [SPREM] SPREM N., BRANICA S., DAWIDOWSKY K.: *Tympanoplasty after War Blast Lesions of the Eardrum: Retrospective Study*. *Croatia Medical Journal*, 2001;42;6;642-645
- [STROHM] STROHM M.: *Operative Therapien der Schallleitungsschwerhörigkeit*. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 2001;149;890-899

[StVO] Österreichisches Bundesgesetzblatt: *Bundesgesetz vom 6. Juli 1960, mit dem Vorschriften über die Straßenpolizei erlassen werden (Straßenverkehrsordnung 1960 - StVO. 1960)*. Republik Österreich, BGBl. Nr. 159/1960 (zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 93/2009)

[SUDHOFF] SUDHOFF H., HILDMANN H.: *Gegenwärtige Theorien zur Cholesteatomentstehung*. HNO, 2003;51;71-83

[THALER] THALER R., GARTNER H.: *Handbuch Umgebungslärm – Minderung und Ruhevorsorge*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, 2. Auflage, 2009

[TOPPILA] TOPPILA E., LAITINEN H., PYYKKÖ I.: *Effects of noise on classical musicians*. European Agency for Safety and Health at Work, 2005;8:21-22

[TINNITUSZENTRUM] Seite „Alles über Tinnitus“. URL: <http://www.tinnituszentrum.com/allesuebertinnitus.htm> (Abgerufen: 13.10.2010)

[VOLV] Österreichisches Bundesrecht: *Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/innen vor der Gefährdung durch Lärm und Vibrationen (Verordnung Lärm und Vibrationen – VOLV)*. Republik Österreich, BGBl. II Nr. 22/2006

[WAGNER] WAGNER J.H., ERNST A.: *Ototoxizität als Nebenwirkung von Medikamenten*. Prakt. Arb. Med., 2007;7:8-11

[WECKER] WECKER H., LAUBERT A.: *Reversible Hörminderung bei akuter Salizylatintoxikation*. HNO, 2004;52:347-351

[WEG] Österreichisches Bundesgesetzblatt: *Wohnungseigentumsgesetz 2002 – WEG 2002*. Republik Österreich, BGBl. I Nr. 70/2002

[WEINSHEIMER] WEINSHEIMER W., WELKER A.: *Auswahl von geeignetem Gehörschutz: Die G 20-Untersuchung als Basis optimaler Schutzanpassung*. Prakt. Arb.med. 2007;9:24-27

[WESTMORE] WESTMORE G. A.: *Noise-induced hearing loss and orchestral musicians*. Arch. Otolaryngol, 1981;107:761-764

[WIKIPEDIA1] Seite „Exostose“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 2. August 2009, 07:02 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Exostose&oldid=62871203> (Abgerufen: 22. August 2009, 15:35 UTC)

[WIKIPEDIA2] Seite „Barotrauma“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 11. August 2009, 06:17 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Barotrauma&oldid=63218368> (Abgerufen: 24. August 2009, 14:01 UTC)

[WIKIPEDIA3] Seite „Otosklerose“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 22. Juni 2010, 07:35 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Otosklerose&oldid=75864589> (Abgerufen: 13. Oktober 2010, 14:46 UTC)

[WIKIPEDIA4] Seite „Carhart-Senke“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 30. Januar 2010, 21:20 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Carhart-Senke&oldid=70019295> (Abgerufen: 13. Oktober 2010, 14:01 UTC)

[WIKIPEDIA5] Seite „Hydrops cochleae“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 30. September 2010, 16:36 UTC. URL: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Hydrops_cochleae&oldid=79747434 (Abgerufen: 6. Oktober 2010, 19:18 UTC)

[ZENNER1] ZENNER H.P., STRUWE V., SCHUSCHKE G., SPRENG M., STANGE G., PLATH P., BABISCH W., REBENTISCH E., PLINKERT P., BACHMANN K.D., ISING H., LEHNERT G.: *Gehörschäden durch Freizeidlärm*. HNO, 1999;47:236-248

[ZENNER2] ZENNER H.P.: *Eine Systematik für Entstehungsmechanismen von Tinnitus*. HNO, 1998;46:699-711

[ZENNER3] ZENNER H.P.: *Die Entstehung von Ohrgeräuschen*. Tinnitus-Forum, DTL, 1998

[ZLZV] Österreichisches Bundesgesetzblatt: *Zivilluftfahrzeug-Lärmzulässigkeitsverordnung 2005 – ZLZV 2005*. Republik Österreich, BGB1. II Nr 425/2005