



**Schallpegel in
Diskotheken und bei
Musikveranstaltungen
Teil I: Gesundheitliche
Aspekte**

von

Wolfgang Babisch

Umweltbundesamt

Diese WaBoLu-Veröffentlichung kann bezogen werden bei
Vorauszahlung von 15,- DM (7,67 Euro)
durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **WaBoLu-Hefte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Herausgeber: Umweltbundesamt -
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet II 2.1
Dr. Wolfgang Babisch

Berlin, Dezember 2000

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung / Summary	2
Einleitung	5
Teil I: Gesundheitliche Aspekte	9
I. 1 Hörfähigkeit von Jugendlichen	9
I. 2 Zur Physiologie des Innenohres	13
I. 2.1 Haarzellen	13
I. 2.2 Cochleärer Verstärker	14
I. 2.3 Morphologie des lärmbedingten Gehörschadens	16
I. 2.4 Hörschwellenverschiebung	20
I. 2.5 Impulsschall	22
I. 2.6 Akustischer Reflex	23
I. 3 Phänomenologie des lärmbedingten Hörverlustes	25
I. 3.1 Norm-Hörschwelle	25
I. 3.2 Abschätzung des lärmbedingten Hörverlusts	25
I. 3.3 Sprachverständlichkeit	26
I. 3.4 Schallpegel-Kriterien aus dem Arbeitsschutz	27
I. 3.5 Arbeitsmedizinische Beurteilung von Hörtests	28
I. 4 Musikexposition in Diskotheken, Clubs und Rock-Konzerten	30
I. 4.1 Vorbetrachtung	30
I. 4.2 Musikschallpegel in Diskotheken	30
I. 4.3 Prinzip der Energieäquivalenz	32
I. 4.4 Impulskomponenten von Musik	32
I. 4.5 Individuelle Faktoren der eingestellten Musiklautstärke	34
I. 4.6 Modifizierende Faktoren auf das Gehörschadensrisiko	37
I. 4.7 Besuchshäufigkeit von Diskotheken	39
I. 5 Gehörschäden durch Musik	41
I. 5.1 Risikoabschätzung	41
I. 5.2 Empirische Befunde	42
I. 5.3 Problemdiskussion	47
I. 5.4 Tinnitus (Ohrgeräusche)	49
I. 5.5 Bewertung	51
I. 6 Akzeptanz von Musikschallpegeln	55
Literatur	59
Anhang Kommission „Soziakusis (Zivilisationsgehörschäden)“ des UBA: Pegelbegrenzung in Diskotheken zum Schutz vor Gehörschäden	73

Zusammenfassung

Musikschall in Diskotheken, Clubs und bei Konzertveranstaltungen stellt eine Form des Freizeitlärms dar, die das Potenzial für bleibende Hörverluste bei den zumeist jugendlichen Besuchern derartiger Orte in sich trägt. Neben dem Schalldruckpegel sind die Besuchshäufigkeit und die auf die Lebenszeit bezogene Beschallungsdauer wesentliche Determinanten der Gehörschädigung. Unter Bezugnahme auf Arbeitsschutzrichtlinien werden die Gehörschädigungsmechanismen durch Lärm im Hinblick auf die Musikschallproblematik aufgezeigt und anhand der vorliegenden Literatur ein Überblick über die typischen Expositionsbedingungen junger Diskothekbesucher gegeben. Epidemiologische Studien zum Zusammenhang zwischen Musikexposition und audiometrischen Testergebnissen bei Jugendlichen werden vorgestellt sowie methodische Probleme derartiger Studien diskutiert. Handlungskonsequenzen von einer verbesserten Aufklärung der Musikkonsumenten über die möglichen Gesundheitsgefahren bis hin zu Schallpegelbegrenzungen, wie sie die Kommission „Soziakusis (Zivilisationsgehörschäden)“ des Umweltbundesamtes vorgeschlagen hat, werden aufgezeigt.

Summary

Noise levels in discotheques and at musical events

Part I: Health-related aspects

The sound of music in discotheques, clubs and concerts is a source of leisure noise and therefore a potential risk for permanent hearing loss in the mostly young visitors of these places. Besides the sound pressure level, the frequency of visits and the lifetime exposure are important determinants in hearing impairment. With regard to the occupational safety regulations, the mechanisms of the development of hearing loss are put forward, and typical exposure conditions of young discotheque visitors are reviewed as taken from literature. Epidemiological studies of the association between exposure to music and audiometric test results in adolescents are given and methodological problems of these studies are discussed. Consequences for action, including better information for the consumers of music about the possible health risks and the limitation of the sound pressure levels are submitted, as suggested by the Commission „Sociacusis (hearing loss due to non-occupational noise exposures)“ of the Federal Environmental Agency of Germany. Some results of investigations about the acceptance of noise level reductions in discotheques are given in this respect.

Einleitung

Lärm wird oft als unerwünschter Schall bezeichnet. Demnach wäre laute Musik, die dem Hörenden gefällt, kein Lärm. Nach einer anderen Definition ist Lärm hörbarer Schall, der zu Belästigungen oder Gesundheitsstörungen führt [DIN 1320, 1969]. Wenn Musik Hörschäden hervorruft, wird auch ihr demnach der negativ belegte Begriff „Lärm“ zugeordnet. Die aurale (das Hörorgan betreffende) Schädigung stellt die einzige spezifisch nachgewiesene irreversible Lärmkrankheit dar. Die über längere Zeit einwirkende akustische Energie ist dabei die gehörschädigende Noxe. Der Begriff „Soziakusis“ wurde eingeführt, um auf die Gefahren aufmerksam zu machen, die sich für das Gehör durch Freizeitaktivitäten und aus dem individuellen Umgang mit Schallquellen im Alltag ergeben [Cohen A. *et al.*, 1970]. Dies in Anlehnung an den Begriff „Presbyakusis“, mit dem der „normale“ Alterungsprozess des Gehörs beschrieben wird [Beck C., 1994]. Allerdings ist ungeklärt, inwieweit die Lebensbedingungen in modernen Industriegesellschaften auch hierbei eine Rolle spielen [Rosen S. und Olin P., 1965].

Das Thema "Gehörschäden bei Jugendlichen" beschäftigt nicht nur die Ärzteschaft [Wissenschaftlicher Beirat der Bundesärztekammer, 1999], allen voran die Hals-Nasen-Ohren-Ärzte [Plath P, 1994; Spaeth J. *et al.*, 1993; Zenner H.-P., 1999], sondern hat besonders auch das Interesse der Öffentlichkeit und der Medien auf sich gezogen. "Hearing damage on the dance floor" - "Hörschaden durch Disko-Musik" - "Die Jugend von heute kann nicht mehr hören". Diese und ähnliche Schlagzeilen gehen durch die Presse. Nicht nur in der Arbeitswelt, sondern auch im Freizeitbereich treten mitunter hohe Schallpegel auf. Zu lautes Musikhören stellt eine Gehörgefährdung dar und wird als eine Ursache für Hörschäden bei Jugendlichen angesehen [Ising H. *et al.*, 1995b; Kommission "Soziakusis (Zivilisations-Gehörschäden)" des Umweltbundesamtes, 1997]. Ist Musikschaall - oder Musiklärm - ein Thema, das die Lärmwirkungsforschung beschäftigen muss? Ist die Schalldosis, der sich Jugendliche aussetzen, ausreichend, um eine nachhaltige Beeinträchtigung des Hörvermögens hervorzurufen? Handelt es sich bei spektakulären Einzelfällen eines akuten Lärmtraumas durch laute Musik um individuelles Fehlverhalten, oder geht es um eine Ursache-Wirkungs-Beziehung von epidemischer Größenordnung? Welche Konsequenzen ergeben sich gegebenenfalls für die elektroakustische Beschallung in Diskotheken, Clubs, bei Live-Musikveranstaltungen u. ä.? Dies sind die Themen, die im folgenden behandelt werden.

Im Bundesimmissionsschutzgesetz [BImSchG (Bundesimmissionsschutzgesetz), 1990] ist der Schutz des Menschen vor Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen formuliert. Im Gegensatz zu anderen Umwelttoxinen, die ungewollt auf den Einzelnen einwirken, besteht beim Musikschaall die Möglichkeit, die Lautstärke am Regler des Abspielgerätes oder durch das Meiden von überlauten Musikveranstaltungen zu kontrollieren. Ein solcher Verweis auf die Eigenverantwortlichkeit erscheint jedoch fragwürdig. Zum einen fehlt es den Betroffenen oft an Kenntnis über die möglichen Gesundheitsgefahren durch Lärm - und selbst wenn die Wirkungen bekannt sind, werden sie oft ignoriert. Für mögliche Folgekosten im Gesundheitswesen kommt zumeist jedoch das Gemeinwesen auf, weshalb es ein berechtigtes Interesse daran hat, über die Eigenverantwortlichkeit hinaus allgemeingültige Sicherheits- bzw. Unschädlichkeitsstandards entsprechender Produkte und Anlagen zu verlangen. Darüber hinaus sind die Grenzen der Selbstbestimmung des Einzelnen, ebenso wie in anderen Lebensbereichen, fließend. Gruppenzwänge unter Jugendlichen erschweren den gesundheitsbewussten Umgang mit Musikschaall und machen ihn oftmals zum Lärm nicht nur für unbeteiligte Dritte sondern für die Betroffenen selbst. Die Notwendigkeit der Beschäftigung mit den möglichen Gehörschäden durch Musikschaall wird deutlich, wenn man sich vor Augen führt, dass in Diskotheken, Musikclubs und an ähnlichen Orten mit Musikdarbietungen Lautstärken gemessen werden, wie sie im Arbeitsleben an ausgewiesenen Lärmarbeitsplätzen anzutreffen sind und dort betriebliche Schutzmaßnahmen für die Betroffenen gesetzlich erforderlich machen.

Hohe Musikschaallpegel werden auch bei anderen Formen des Musikhörens erreicht, z. B. beim Hören über Kopfhörer mit der HiFi-Anlage daheim oder unterwegs mit portablen Musikabspielgeräten ("Walkman[®]", "Discman[®]"). Diese Bereiche sind nicht Gegenstand des vorliegenden Berichtes, um das Thema hier etwas einzugrenzen. Die vorgestellten Gehörschädigungsmechanismen gelten prinzipiell jedoch in gleicher Weise. An anderer Stelle wurde ausführlich über Untersuchungsergebnisse zu dieser Thematik berichtet [Babisch W., 1998a; Babisch W., 1998b; Hellström P. A., 1991; Ising H., 2000; Ising H. *et al.*, 1995a; Mercier V. *et al.*, 1998; Passchier-Vermeer W. *et al.*, 1998; Smith P. A. *et al.*, 2000; Struwe F., 1996; Zenner H.P. *et al.*, 1999]. Beim Musikhören über Kopfhörer sind die Expositionsbedingungen andere als in Diskotheken u. ä. Orten [Axelsson A., 1996b; Babisch W. und Ising H., 1994b; Hanel J., 1996; Hellström P.-A. und Axelsson A., 1988; Ising H. *et al.*, 1995a; Schuschke G. *et al.*, 1994]. In der Fachwelt bestehen daher unterschiedliche Einschätzungen über die gesundheitliche Relevanz und die epidemiologische Evidenz des Einflusses von tragbaren Musikabspielgeräten

(„PCP“ = „portable cassette player“) auf die Hörfähigkeit von Jugendlichen [Ising H., 2000; Mercier V. *et al.*, 1998; Smith P. A. *et al.*, 2000]. Nachdem in Frankreich 1996 ein Gesetz zur Pegelbegrenzung für solche Geräte eingeführt wurde [Patel T., 1996; Werner E., 1998] und auf europäischer Standardisierungsebene entsprechende Normungsaktivitäten eingeleitet worden sind, sind diesbezüglich gesundheitsverträgliche Regelungen in naher Zukunft zu erwarten [CENELEC, 2000; CENELEC, in prep.]. Danach soll die unverzerrte Ausgangsspannung und die Empfindlichkeit von Kopfhörern bei tragbaren Abspielgeräten so begrenzt bzw. die Impedanzanpassung der Komponenten so geregelt werden, dass die Maximalpegel auf 100 dB(A) begrenzt werden und sichergestellt ist, dass äquivalente Dauerschallpegel von 90 dB(A) nicht überschritten werden [Werner E., 1998].

Bei der Abschätzung des Gehörschadensrisikos kommt es nicht nur auf die Höhe des Schallpegels (gemessen als Mittelungspegel) am Immissionsort bzw. unter den Kopfhörern, sondern auch auf die Expositionszeit an. Wenn die Einwirkzeiten hinreichend lang sind, besteht die Gefahr für einen lärmbedingten Hörverlust. Bezüglich Diskotheken, Clubs und Live-Konzerten spielen also die Besuchshäufigkeit und die Verweilzeit der Besucher an den jeweiligen Orten eine ganz wesentliche Rolle. Aus den genannten Expositionsgrößen läßt sich die mittlere wöchentliche Schalldosis als energieäquivalenter Dauerschallpegel berechnen. Dieser mittlere Schallpegel wird zur Beurteilung des Gehörschadensrisikos herangezogen und hat bei Gewichtung mit den Jahren des Exponiertseins gegebenenfalls eine gehörschädigende Relevanz [VDI-Richtlinie 2058 Bl. 2, 1988]. Seltene Diskothekbesuche hingegen sind als unschädlich einzustufen, sofern akute Schädigungen aufgrund von hohen Einzelimpulsen und regelmäßigen Pegelspitzen ausgeschlossen werden können [Der Schweizerische Bundesrat, 1996; Richtlinie 86/188/EWG, 1986; VDI-Richtlinie 2058 Bl. 2, 1988].

Im Teil I des Berichts (das vorliegende „WaBoLu-Heft“) werden epidemiologische Befunde zur Hörfähigkeit von Jugendlichen vorgestellt, die Anlass zur Sorge geben. Im Anschluss werden einige Aspekte der Gehörphysiologie behandelt, und es wird auf Schädigungsmechanismen im Gehör bei Überlastung durch Lärm eingegangen, wobei insbesondere die Rolle der inneren und äußeren Haarzellen des cortischen Organs bei der Schallwahrnehmung näher beleuchtet wird. Es folgen Betrachtungen aus der Arbeitsmedizin, wo das Problem des lärmbedingten Gehörschadens hinlänglich bekannt ist und Regelungen für den Schutz der Beschäftigten vor einer berufsbedingten Lärmschwerhörigkeit getroffen sind. Im weiteren werden die Musikhör-

gewohnheiten der Jugendlichen betrachtet, wobei das Diskothek-Besuchsverhalten hier im Vordergrund steht. Es folgen Abschätzungen über den zu erwartenden Hörverlust durch Musikschall unter Zugrundelegen der bei Jugendlichen üblichen Verhaltensweisen und der in Diskotheken gemessenen Musikschallpegel. Die Abschätzungen werden anhand von Ergebnissen empirischer Untersuchungen überprüft. Schließlich werden präventivmedizinische Vorschläge vorgestellt, die die Kommission „Soziakusis (Zivilisations-Gehörschäden)“ des Umweltbundesamtes zum Schutz vor möglichen Gehörschäden durch laute Musik unterbreitet hat.

Im Teil II: Studie zu den Musikhörgewohnheiten von Oberschülern des Berichts, der zusammen mit Teil III als eigenständiges „WaBoLu-Heft“ vorliegt [Babisch W. und Bohn B., 2000], werden die Ergebnisse einer Querschnittsbefragung bei Schülern einer Berliner Oberschule zu den Musikhörgewohnheiten vorgestellt. Dabei geht es um die bevorzugte Musikrichtung, die gewünschte Lautstärke und die schalltechnischen Bedingungen in den bevorzugten Diskotheken der befragten 433 Schüler.

Im Teil III: Studie zur Akzeptanz von Schallpegelbegrenzungen in Diskotheken des Berichts, der zusammen mit Teil II als eigenständiges „WaBoLu-Heft“ vorliegt [Babisch W. und Bohn B., 2000], werden die Ergebnisse eines Experiments beschrieben, in dem über den Abend hinweg verschiedene Musikschallpegel in einer Diskothek eingestellt wurden und von den Besuchern (133 Schüler der Marie-Curie-Oberschule) hinsichtlich Wohlempfinden und Akzeptanz beurteilt wurden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden im vorliegenden Teil I des Berichts auch im Hinblick auf nachteilige wirtschaftliche Gesichtspunkte diskutiert, die sich aus einer Begrenzung der Musikschallpegel in Diskotheken für Diskothekenbetreiber und Konzertveranstalter ergeben könnten bzw., wie die Ergebnisse zeigen, sich nicht ergeben würden.

Teil I: Gesundheitliche Aspekte

I. 1 Hörfähigkeit von Jugendlichen

Während in den 60er Jahren noch vornehmlich der Umgang mit Waffen und Feuerwerkskörpern als mögliche Ursachen für den beobachteten Anstieg lärmtypischer Gehörschäden mit zunehmendem Alter bei Jugendlichen angesehen wurden [Weber H. J. *et al.*, 1967], wird mit Beginn des Beat-, Pop- und Rock-Musikzeitalters und der einsetzenden breiten Verfügbarkeit leistungsstarker Verstärkeranlagen auch lautes Musikhören als eine mögliche Ursache für lärmbedingte Gehörschäden betrachtet [Axelsson A. *et al.*, 1981b; Axelsson A. und Lindgren F., 1981; Brookhouser P. E. *et al.*, 1992; Irion H., 1979; Ising H., 1994; Roche A. F. *et al.*, 1978]. Eine norwegische Arbeit aus dem Jahr 1988 hat die wissenschaftliche Diskussion zum Thema Gehörschäden durch Freizeitlärm sehr stark beeinflusst [Borchgrevink H. M., 1988]. **Abb. 1** gibt eine grafische Darstellung des Anteils von Rekruten der norwegischen Armee der Jahrgänge 1981-1987, die bei der Musterung einen auffälligen unilateralen bzw. bilateralen Luftleitungshörverlust von wenigstens 20 dB im Hochtonbereich bei Frequenzen von 3 bis 8 kHz aufwiesen. Dabei handelt es sich um Frequenzen im Bereich der sogenannten c5-Senke, die für einen lärmbedingten Hörschaden typisch ist. Die Ergebnisse beruhen auf jeweils mehr als 30.000 Audiogrammen pro Jahrgang und stellen repräsentative Querschnittserhebungen dar. Deutlich läßt sich ein Anstieg des Anteils von Jugendlichen mit Hörverlust über die Jahre hinweg erkennen. Da die jungen Männer noch nicht im Berufsleben standen, wurde in der Diskussion der Ergebnisse die Vermutung geäußert, dass Freizeitgewohnheiten - vornehmlich das Musikhören im weitesten Sinn - hierbei eine Rolle spielten. Aus Österreich gab es eine ähnliche Betrachtung bei Berufsanfängern [Körpert K., 1992]. So stieg auch hier im zeitlichen Längsschnitt von 1976 bis 1991 der Anteil von nicht-arbeitslärmbelasteten Jungen und Mädchen („screened population“) im Alter von 15 bis 18 Jahren mit entsprechendem Hörverlust von mehr als 20 dB bei den Frequenzen 3-6 kHz auf wenigstens einem Ohr (und gleichzeitig gutem Hören bei 1 kHz) - besonders Mitte der 80er Jahre - drastisch an; bei Männern von ca. 5% auf ca. 43%. Als mögliche Ursache dafür wurde die zunehmende Verbreitung tragbarer Kassettenabspielgeräte (Walkman®) diskutiert.

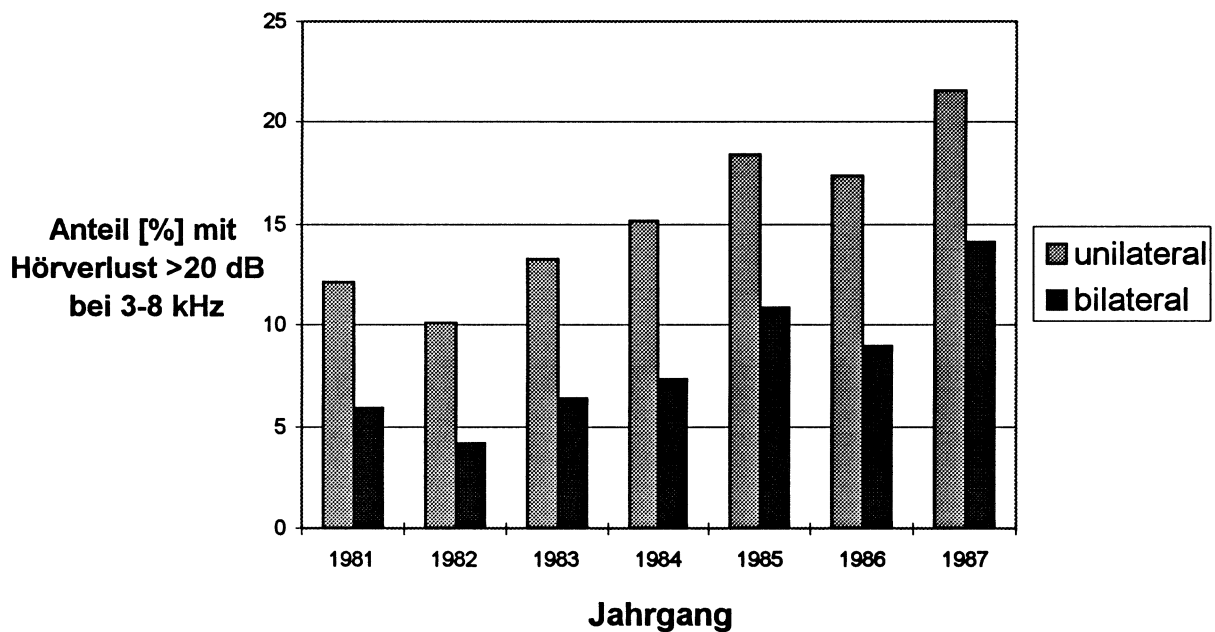


Abb. 1: Hörverlust bei norwegischen Rekruten [Borchgrevink H. M., 1988]

Eine vom Bundesministerium für Gesundheit geförderte Studie an 1814 Wehrdienstpflichtigen, die während der Musterung bei verschiedenen Kreiswehersatzämtern audiometriert wurden, kam auf ein ähnliches Ergebnis [Struwe F., 1996; Struwe F. *et al.*, 1996]. Danach waren ca. 24% der jungen Männer im Alter von 16 bis 24 Jahre im Frequenzbereich der c5-Senke auffällig, d. h. sie wiesen eine Hörminderung von mindestens 20 dB bei einer der Testfrequenzen von 3 bis 6 kHz auf mindestens einem Ohr auf (bei gleichzeitig „unauffälligem“ Befund bei den Frequenzen 1 und 2 kHz). Ein nationaler Survey zur Hörfähigkeit in Großbritannien führte bei jungen otologisch normalhörenden Männern und Frauen im Mittel auf ein um 5 dB schlechteres Hörvermögen, als es nach dem internationalen Standard zur Normhörschwelle zu erwarten wäre [Smith P. *et al.*, 1999]. Sowohl methodische Gründe als auch eine zunehmende Lärmexposition durch Freizeitaktivitäten wurden als Ursachen dafür diskutiert [Smith P. A. *et al.*, 2000]. Nach einer französischen Quelle hatten nur 56% der Rekruten eines Regimentes ein normales Hörvermögen [Französisches Verbrauchermagazin, Datum unbekannt]. In einer italienischen Studie wurden ebenfalls bei der Musterungsuntersuchung von Rekruten gegenüber früheren Jahren eine schlechtere Hörfähigkeit diagnostiziert und die Notwendigkeit von Präventionsprogrammen gegen lärmbedingten Hörverlust herausgestellt [Merluzzi F. *et al.*, 1997].

Es gibt Andeutungen dafür, dass die Anteile von im Hörtest auffälligen jungen Männern in der jüngsten Vergangenheit stagnieren bzw. wieder rückläufig sind. In Norwegen lag der Anteil von Rekruten mit beidseitigem (binauralen) Hörverlust >20 dB bei Frequenzen über 3000 Hz am Anfang der 80er Jahre bei ca. 6%, am Ende der 80er Jahre bei ca. 14%, zu Beginn der 90er Jahre bei ca. 10% und Mitte der 90er Jahre bei 5% [Borchgrevink H. M., 1993; Borchgrevink H.M. und Woxen O.J., 1998; Ising H. und Babisch W., 1998]. Nachhaltige Aufklärungskampagnen über die gehörschädigenden Wirkungen lauter Musik wurden als Ursache für den zurückgehenden Trend angesehen. Dies zeigt, wie wirkungsvoll eine zielgerichtete Aufklärung in diesem Bereich sein kann. Dazu passen die Ergebnisse aus Schweden, wonach die Prävalenz für Hörverlust >20 dB im Bereich der c5-Senke (3-6 kHz) auf dem linken/rechten Ohr bei 18jährigen in den 70er Jahren bei ca. 8%/6% und in den 90er Jahren bei ca. 7%/6% lagen [Rosenhall U. *et al.*, 1993]. Das heißt, es ließen sich keine Veränderungen der Hörfähigkeit von jungen Männern im Langzeitvergleich nachweisen. Die Untersuchung erlaubt keine Aussage über die Situation in den 80er Jahren, wo der starke Anstieg der Prävalenz von Hörverlusten in Norwegen zu verzeichnen war. Andere schwedische Untersuchungen aus dieser Zeit ließen aber einen Anteil von ca. 15% der 17-20jährigen Jugendlichen mit entsprechend potenziell lärmbedingtem Hörverlust erkennen [Axelsson A. *et al.*, 1981a]. Auch in Österreich war in den 90er Jahren wieder ein Abfall bei der Prävalenz audiometrisch auffälliger Schüler und Berufsbewerber zu verzeichnen, wobei deren Anteil immer noch ca. 10% über den Vergleichswerten der 70er Jahre lag [Körpert K., submitted for publication].

Die aktuellen Zahlen audiometrisch auffälliger junger Menschen für Deutschland und England liegen in den genannten Untersuchungen höher als in Skandinavien. Ob unterschiedliche Freizeitgewohnheiten der jungen Leute in den betreffenden Ländern dabei eine Rolle spielen oder Aufklärungs- und Präventionsprogramme in den Ländern unterschiedlich effektiv waren, ist schwer zu beurteilen. Bei einer anderen repräsentativen Befragung in Deutschland gaben bereits 4% der 15-19jährigen an, eine Hörbehinderung zu haben [Stange G., 1992]. Dieser Anteil stieg bei den 20-29jährigen auf 7%. Diese Angaben stimmen mit hausärztlichen Erhebungen weitgehend überein [Szecsenyi J. und Sandholzer H., 1995]. Knapp 4% der 15-24jährigen Patienten gaben hier an, eine Hörstörung zu haben (nicht nur lärmbedingte Ursachen). Parallel zu den Befragungen durchgeführte hausärztliche Untersuchungen führten dagegen auf einen Anteil von ca. 14% auffälliger Patienten im Screening-Test. Demnach wird die wahre Prävalenz von Hörbeeinträchtigungen durch Selbstangaben eher unter- als überschätzt. Grundsätzlich

wird gefordert, dass auch der durch Aufklärung nicht zu erreichende Anteil der Bevölkerung vor freizeitlärmbedingten Hörschäden hinreichend geschützt werden sollte [Wissenschaftlicher Beirat der Bundesärztekammer, 1999].

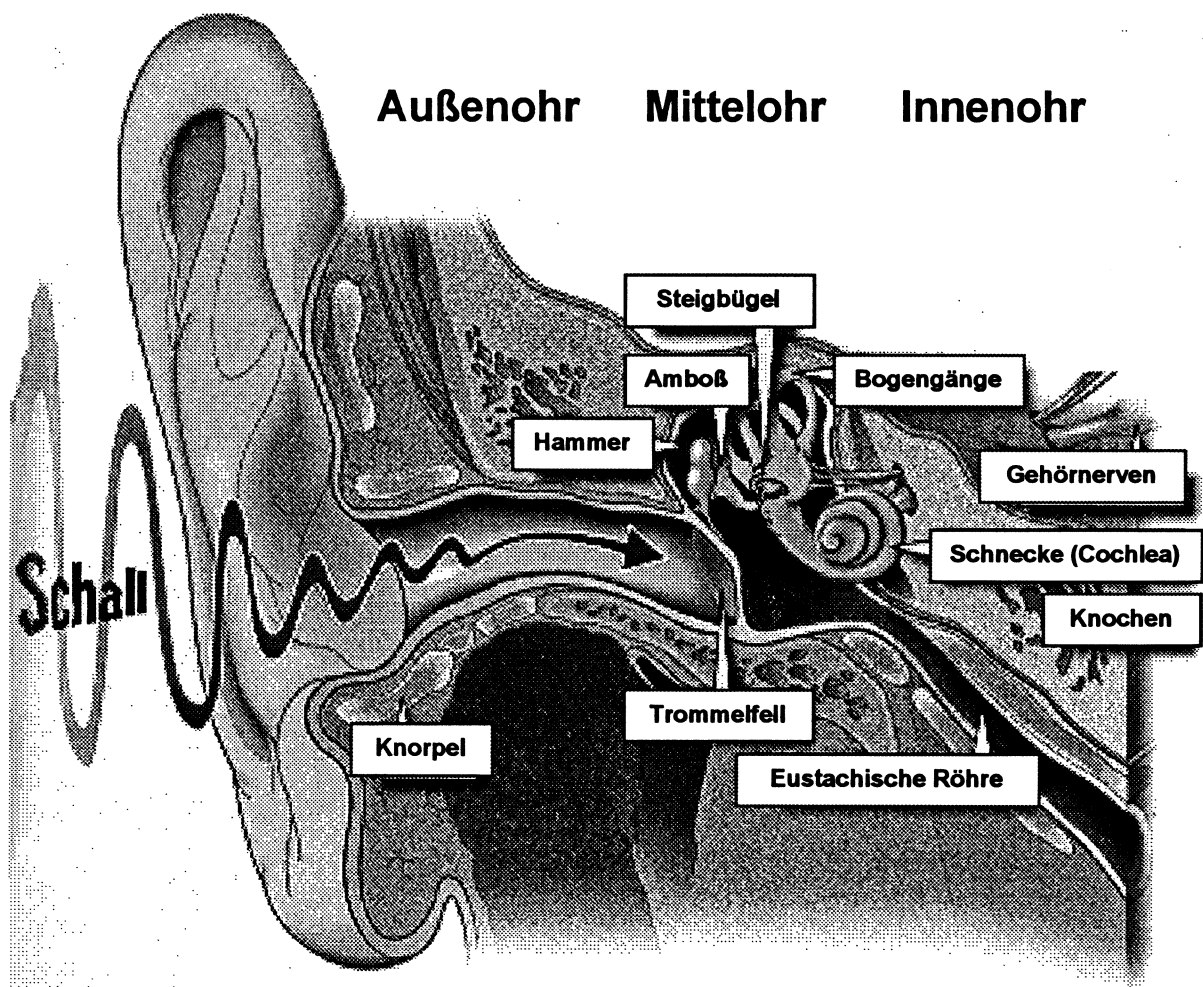


Abb. 2: Aufbau des Ohres

I. 2 Zur Physiologie des Innenohres

I. 2.1 Haarzellen

Der Hörapparat besteht bekanntlich aus dem Außen-, dem Mittel- und dem Innenohr (vgl. **Abb. 2**). Das Außenohr dient der Schallankoppelung und dem Richtungshören, das Mittelohr mit dem Trommelfell und den Gehörknöchelchen der Anpassung von Luftschall an Flüssigkeitsschall im Innenohr. Im nachrichtentechnischen Sinn handelt es sich hierbei um einen Impedanzwandler, um Reflexionen beim Übergang von Luftschall zu Flüssigkeitsschall zu minimieren. Im Innenohr geschieht die Umwandlung von Schall in Nervenimpulse, die zum Gehirn weitergeleitet werden [Euler M., 1997a]. Hinsichtlich des lärmbedingten Hörverlusts interessiert besonders das ca. 3,5 cm lange cortische Organ, das auf der Basilarmembran der Cochlea sitzt, mit seinen drei Reihen äußerer und einer Reihe innerer Haarzellen. **Abb. 3** zeigt elektronenmikroskopische Aufnahmen des Cortischen Organs - in diesem Fall vom Meerschweinchen [Gehrig W. *et al.*, 1992]. Deutlich sind die V-förmig angeordneten Zilien der äußeren Haarzellen (Proportional-Rezeptoren, Intensitätsdetektoren) und die linienförmig angeordneten Zilien der inneren Haarzellen (Differential-Rezeptoren, Geschwindigkeitsdetektoren) zu sehen. Jede Haarzelle umfasst ca. 100 Stereozilien, die in Kontakt zur Tektorialmembran stehen und bei Schwingungen der Basilarmembran Scherkräfte erfahren, was den Reizstimulus darstellt. Die inneren Haarzellen sind die eigentlichen Rezeptoren für die gewöhnliche Sinnesübertragung, 95% aller Hörnervenfasern entspringen dort [Dieroff H.-G., 1994d; Silbernagl S. und Desopoulos A., 1991]. Die an den äußeren Haarzellen endenden Nervenfasern sind nur zu 5% Afferenzen (zentralwärts meldend) und zu 95% Efferenzen (peripherwärts meldend), was der Steuerung eines für die Hörwahrnehmung wichtigen Rückkopplungskreises dient [Zenner P. und Plinkert P. K., 1994].

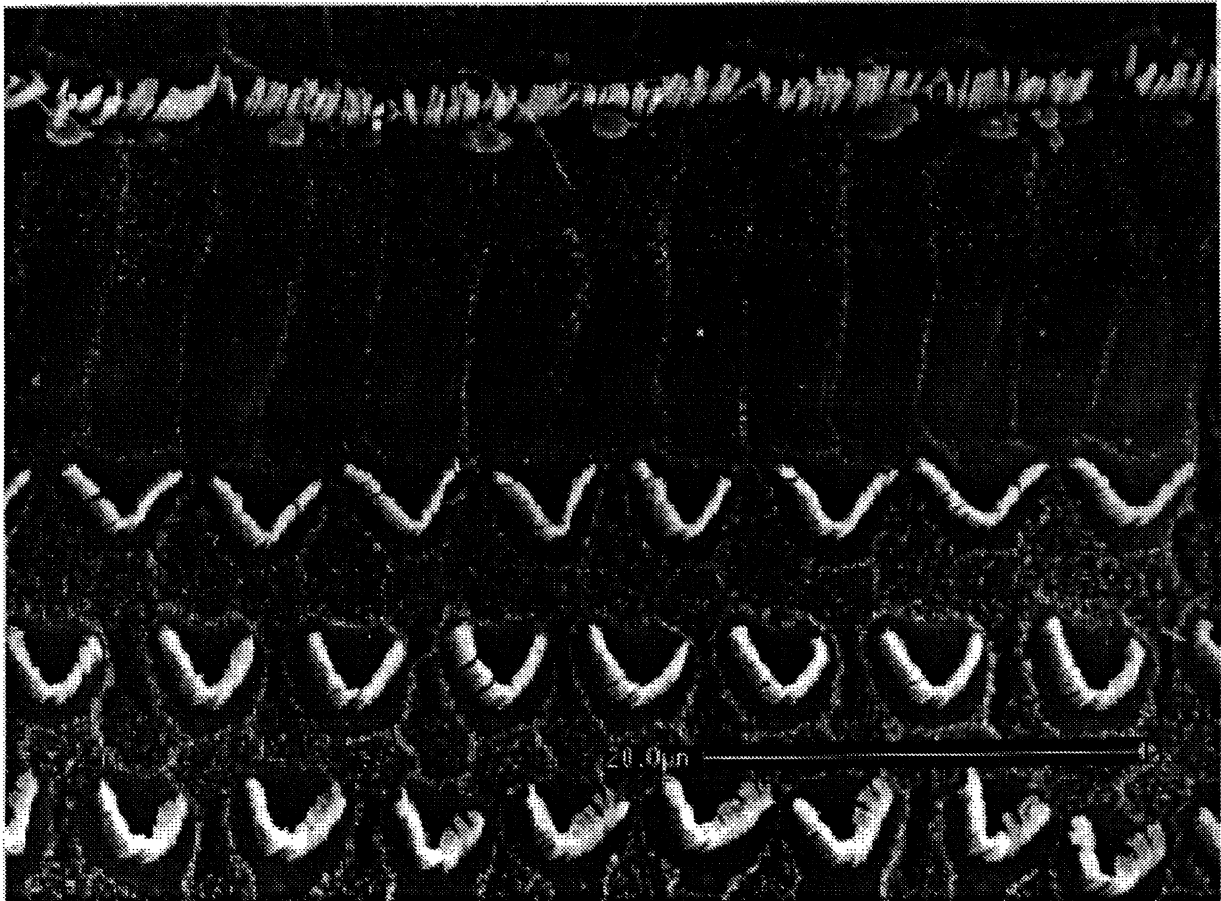


Abb. 3: Innere und äußere Haarzellen (elektronenmikroskopische Aufnahme)

I. 2.2 Cochleärer Verstärker

Das passive Mitschwingen der Basilarmembran und das, aufgrund der von der Schneckenbasis (rundes Fenster) zur Schnecken Spitze (Helicotrema) abnehmenden Steife und zunehmenden Masse, sich ortsspezifisch ausbildende Schwingungsmaximum der Wanderwelle allein erklären nicht die Tonhöhen선택性 und den hohen Dynamikumfang (Schallintensitätsverhältnis 1:1'000'000'000) der Schallwahrnehmung. Vielmehr kommt den äußeren Haarzellen eine aktive Rolle beim Hörwahrnehmungsprozeß im Sinne eines cochleären Verstärkers zu, der unter Einsatz eigener Energiequellen vom Gehirn gesteuert wird [Euler M., 1997b]. Die äußeren Haarzellen können bei Anregung reizsynchrone Kontraktionen oder Elongationen und somit ortsspezifisch Bewegungen ausführen, die die Auslenkung der Basilarmembran bei leisen Sig-

nalen bis um das hundertfache verstärken. Dies ist in **Abb. 4** skizziert (nach [Davis H., 1983]). In Schwellennähe beträgt die Verstärkung ca. 40 dB.

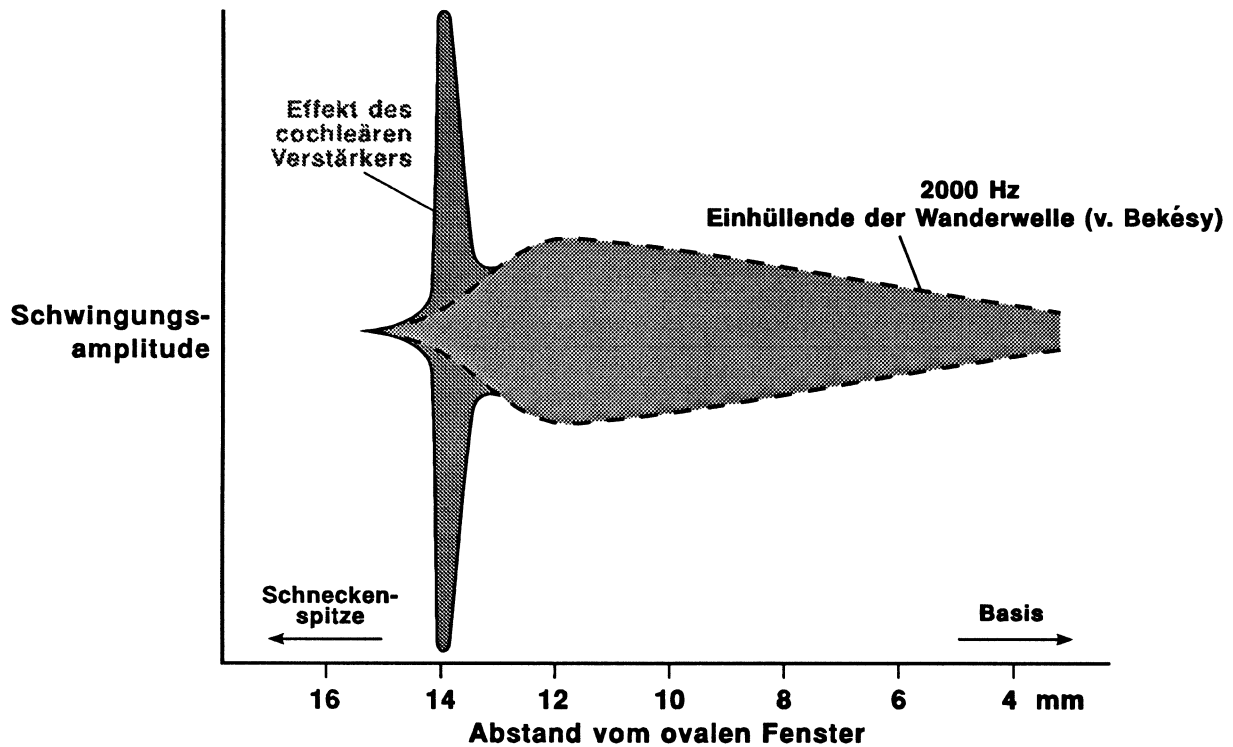


Abb. 4: Funktion des cochleären Verstärkers

Andererseits wird die Schwingungsamplitude bei lauten Signalen (oberhalb von Schalldruckpegeln von ca. 80 bis 100 dB) durch die aktiven Prozesse der äußeren Haarzellen gedämpft, was dem Schutz vor mechanischem Zerreißen und stoffwechselenergetischer Überlastung dient [Zenner P. und Plinkert P. K., 1994]. Dieser nichtlineare Mechanismus ist besonders vulnerabel gegenüber Schädigungen der Cochlea [Spreng M., 1994]. Die Zilien der äußeren Haarzellen reagieren empfindlicher auf akute und chronische Lärmbelastungen oder ototoxische Medikamente als die inneren, was wegen der größeren Bewegungsamplituden der Basilarmembran in diesen Flächenbereichen zum Teil eine rein mechanische Ursache haben kann [Brookhouser P. E. *et al.*, 1992; Rydmarker S. und Nilsson P., 1987; Slepecky N., 1986]. Durch Messung otoakustischer Emissionen lassen sich cochleäre und retrochochleäre Funktionsstörungen differentialdiagnostisch nachweisen [Janssen Th., 1999].

I. 2.3 Morphologie des lärmbedingten Gehörschadens

Bei andauernder hoher Schallbelastung entwickelt sich ein Lärmhörschaden zuerst bei den äußeren Haarzellen, wodurch der cochleäre Verstärker mit seiner Schutzfunktion beeinträchtigt wird. Erst in späteren Phasen der Schadensentwicklung bei Dauerlärmbelastung sind Stützzellen und innere Haarzellen betroffen [Dieroff H.-G., 1994d]. Von den drei Reihen äußerer Haarzellen war im Tierexperiment die äußerste Reihe sowohl durch breitbandigen Dauerlärm als auch Impulslärm die am stärksten betroffene [Rydmarker S. und Nilsson P., 1987]. Es bestanden jedoch qualitative Unterschiede in der morphologischen Wirkung in Abhängigkeit von der spektralen Zusammensetzung des Dauerlärms und der Steilheit der Impulse [Nilsson P. *et al.*, 1987; Slepecky N., 1986]. Bei Beschallung mit reinen Tönen wurden die größten Zilienschäden in der innersten Reihe der äußeren Haarzellen gefunden [Nilsson P. *et al.*, 1980].

Bei starker Beschallung erschlaffen die Stereozilien und knicken infolge des einsetzenden Steifeverlusts ab. Dies ist in **Abb. 5** anhand elektronenmikroskopischer Aufnahmen dargestellt (aus [Slepecky N., 1986]). Solche Effekte werden schon kurz nach Einsetzen des Lärms beobachtet [Slepecky N., 1986]. Ursache dafür sind gestörte Stoffwechsel-, Ionenaustausch- und Durchblutungsvorgänge in der Cochlea [Hudspeth A. J., 1985; Hughes G. B., 1989; Lim D. J., 1986; Miller J. M. und Dengerink H., 1988; Nakai Y. und Masutani H., 1988; Oftedal G., 1988]. Die kurzfristige energetische Unterversorgung der Zellen äußert sich in einer vorübergehenden und subjektiv wahrnehmbaren Vertäubung (zeitweilige Hörschwellenverschiebung = TTS). Dieser Ermüdungsprozess ist nach hinreichenden Lärmpausen mit Schallpegeln unter 70 dB(A) reversibel [Nielsen D. W. und Slepecky N., 1986; Slepecky N., 1986; Spreng M., 1994]. Die Erholung kann jedoch je nach Stärke der TTS bis zu mehreren Tagen dauern. Eine andere Ursache für die zeitweilige Hörschwellenverschiebung erklärt sich aus der Funktion des cochleären Verstärkers: Bei Adaptation des cochleären Verstärkers an eine hohe Schallbelastung verläuft die Wanderwelle auf der Basilarmembran nur noch flach (geringe Amplitude) und breit (unscharfe Frequenzabstimmung), so dass erst bei der gegenüber den äußeren Haarzellen schlechteren (höheren) physiologischen Hörschwelle der inneren Haarzellen (etwa 50-70 dB) eine Hörwahrnehmung entsteht [Zenner P. und Plinkert P. K., 1994]. Dieser Adaptionsprozess ist vorübergehend und wirkt bis in nachfolgende Zeiten der Ruhe nach. Schmalbandige Geräusche oder Töne erzeugen die größte TTS bei Frequenzen, die $\frac{1}{2}$ bis 1 Oktave oberhalb der Stimu-

lusfrequenz liegen. Breitbandige Geräusche bewirken die stärkste Hörminderung im Bereich der c5-Senke [Dieroff H.-G., 1994a].

Bei fortdauernder starker Beschallung verkleben einzelne Zilien mit benachbarten, verklumpen und bilden sich schließlich irreversibel zurück, was zu einem Gehörschaden führt, der sich als bleibende Hörschwellenverschiebung (PTS) manifestiert [Consensus Development Panel, 1990; Oftedal G., 1988]. Eine feste Beziehung zwischen TTS und PTS derart, dass ein Gehörschadensrisiko aus TTS-Experimenten abgeleitet werden kann, besteht nicht [Consensus Development Panel, 1990; Kryter K. D. *et al.*, 1966]. Die TTS beschreibt ein poststimulatorisches, tonaudiometrisch nachweisbares, Verhalten des Hörorgans, für das ganz unterschiedliche Faktoren verantwortlich sind [Dieroff H.-G., 1994a]. Die **Abb. 6-8** zeigen elektronenmikroskopische Aufnahmen von Haarzellenpräparaten aus Tierversuchen im fortgeschrittenen Stadium energetischer Überlastung durch Schall [Décorcy L. *et al.*, 1987; Ising H. *et al.*, 1995c]. Die Stereozilien sind erschlafft, verklebt und nicht mehr funktionsfähig. Sie bilden sich im Endstadium völlig zurück und sind morphologisch nicht mehr zu erkennen. Das bedeutet nicht, dass auch die Haarzelle als solche abgestorben sein muss. Es sei erwähnt, dass es tierexperimentelle Untersuchungen gibt, nach denen zumindest eine partielle Regeneration von degenerierten Zilien noch intakter Haarzellen möglich ist [Corwin J. T. und Cotanche D. A., 1988]. Dies ist für die hier erfolgenden Betrachtungen zum Schadensrisiko durch Musik-Dauerlärm jedoch von untergeordneter Bedeutung. Da ca. 30 äußere Haarzellen mit einer einzigen afferenten Faser verbunden sind, werden erst ab einem kritischen Wert der Zerstörung auf der Basilarmembran Funktionsausfälle nachweisbar. Zu beachten ist, dass entsprechend vorgeschädigte Ohren bei weiteren Lärmbelastungen daher für die Entwicklung eines nachweisbaren funktionellen Hörverlusts besonders anfällig sind. Die „okkulten“ Schäden sind Vorschäden, die in den Summationseffekt, den ein „akustisches Trauma“ hervorruft, eingehen [Dancer A., 2000]. [Dancer A., 2000]

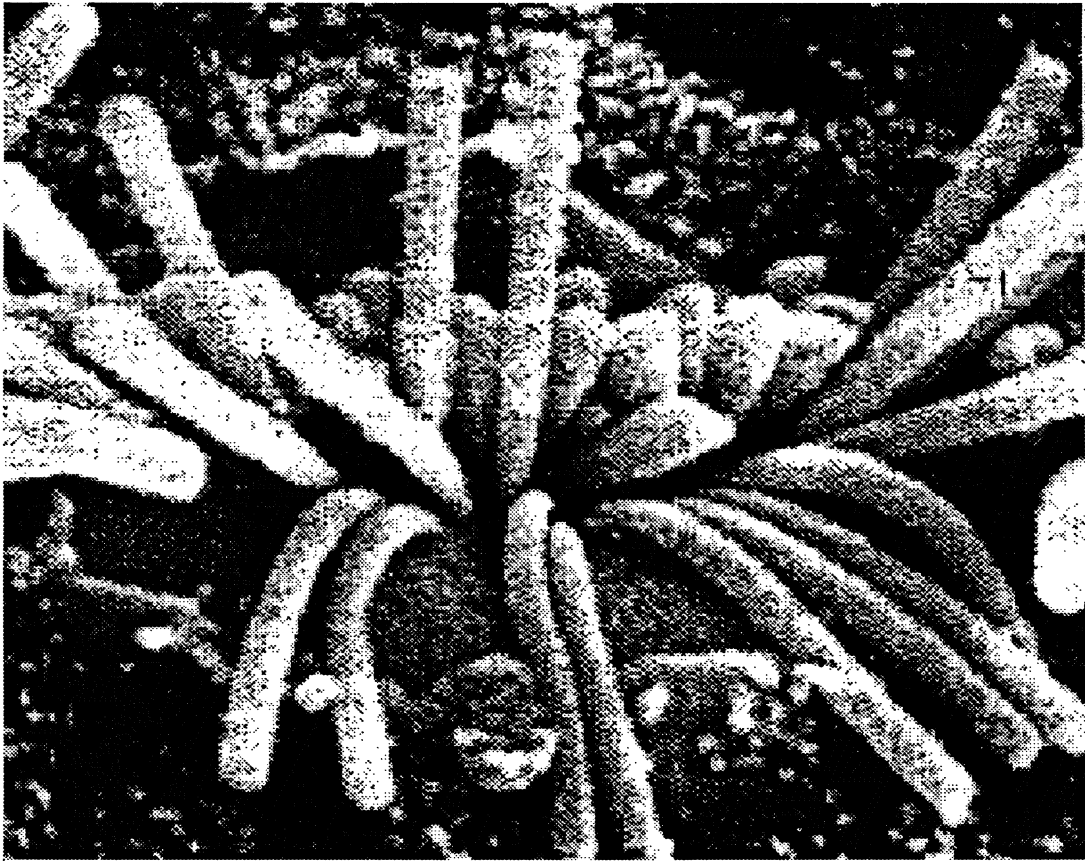


Abb. 5: Erschöpfte Stereozilien



Abb. 6: Erschlaffte und verklebte Stereozilien

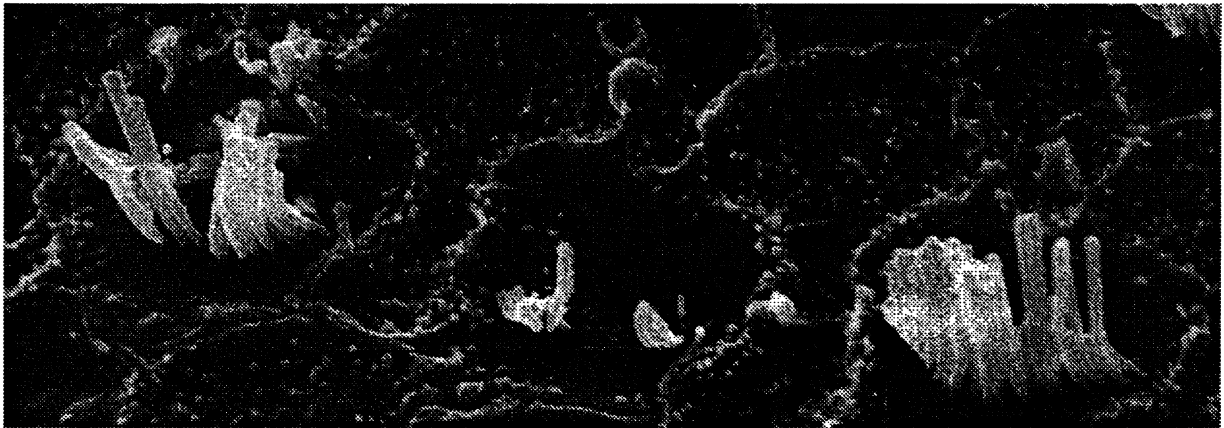


Abb. 7: Zerstörte Stereozilien (Abbrüche)

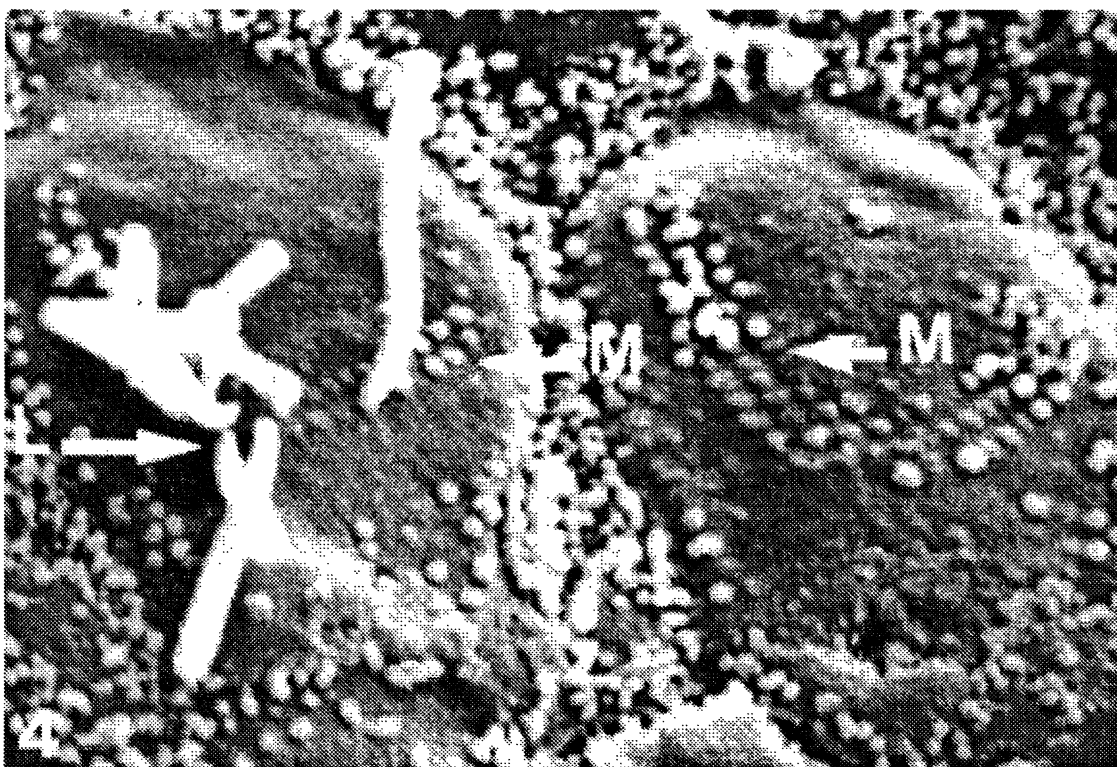


Abb. 8: Degenerierte Haarzellen (keine Stereozilien mehr vorhanden)

I. 2.4 Hörschwellenverschiebung

Die Folge hoher breitbandiger Schallexposition über einen längeren Zeitraum hinweg ist die bekannte und in Abb. 9 schematisch dargestellte Hörminderung, die sich vornehmlich im Hochtonbereich bei den Testfrequenzen zwischen 3 und 6 kHz ausbreitet (c5-Senke), wo die Hörwahrnehmung am empfindlichsten ist. Mit fortschreitender Gehörschädigung sind auch Frequenzen des Sprachbereichs betroffen.

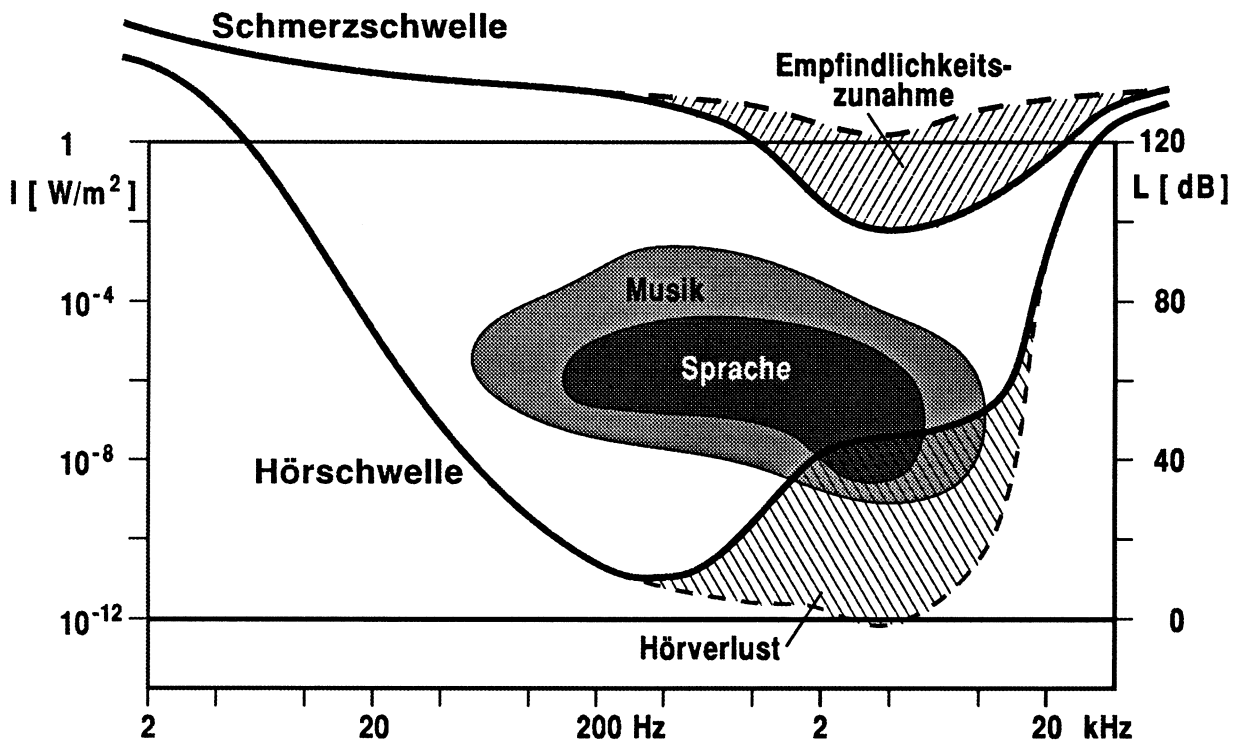


Abb. 9: Hörfläche beim Vorliegen einer Lärmschwerhörigkeit (schematische Darstellung)

Der eingeschränkte Dynamikbereich der Schallwahrnehmung beim geschädigten Ohr äußert sich bei den Betroffenen als „Recruitment“ (fehlender Lautheitsausgleich). Die Lautheit, das subjektive Hörempfinden, wächst über der verschobenen Hörschwelle sehr viel schneller an, so dass die Unbehaglichkeitsschwelle früher erreicht wird als beim Normalhörenden. Leises wird wegen der Schwerhörigkeit nicht oder nur schlecht gehört, etwas Lauteres wird vom Schwerhörigen ebenso laut gehört wie vom Normalhörenden. Bei sehr lauten Tönen und Geräuschen kann es zu einer Überempfindlichkeit kommen, da die Schmerzschwelle durch die fehlende Dämpfung schon bei niedrigeren Schallpegeln erreicht wird (Hyperakusis) [Hesse G., 2000;

Plath P., 1995]. Dies ist in **Abb. 10** illustriert. Eine Schädigung des aktiven Verstärkers ist die Ursache für die geringere Intensitätsunterschiedsschwelle des Kranken und gleichzeitig verminderter Frequenzselektivität (Diskriminationsverlust), d. h., einem Verlust an Tonhöhenunterschieds-Wahrnehmung [Zenner P. und Plinkert P. K., 1994].

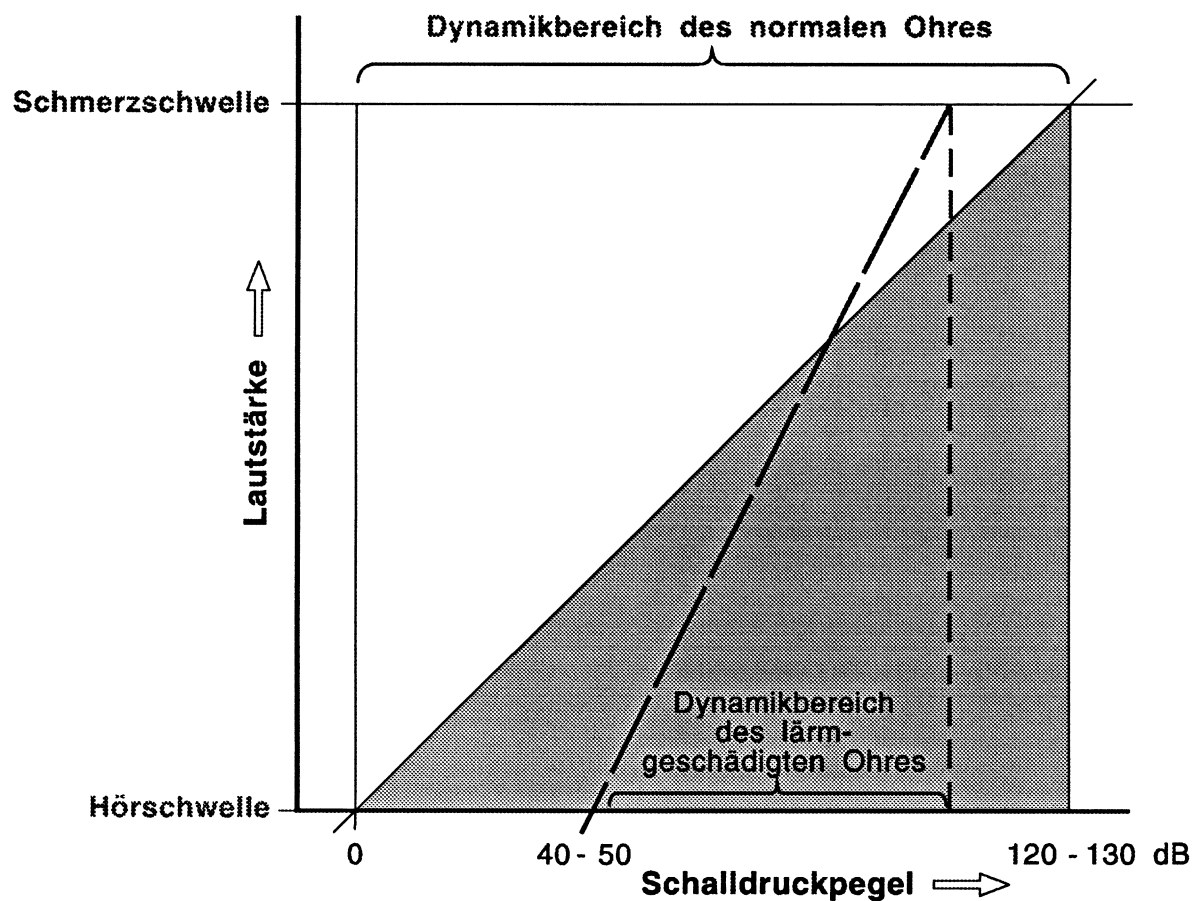


Abb. 10: Eingeschränkter Dynamikbereich des Hörens bei Schwerhörigkeit mit positivem Recruitment (z. B. Lärm-Hörschädigung)

I. 2.5 Impulsschall

Gehörschäden können nicht nur durch langfristig einwirkenden Dauerschall, sondern auch akut durch kurzzeitig einwirkende sehr hohe Schallpegel oberhalb der Schmerzschwelle von ca. 120-130 dB(A) (Zeitbewertung „fast“ des Messinstruments) auftreten. Schon nach kurzen Beschallungsdauern im Bereich von Sekunden mit entsprechenden Pegeln lassen sich bei den Stereozilien der Haarzellen abgebrochene Wurzeln, zerrissene Membranen und Verschmelzungen morphologisch nachweisen [Spreng M., 1994]. Aus der Arbeitswelt ist bekannt, dass impulsförmiger Schall (Pegelanstieg > 80 dB/s, 1-200 ms Dauer) hinreichender Stärke akute Gehörschädigungen mechanischer Art mit Haarzelluntergang hervorrufen kann [Dieroff H.-G., 1994c; Joachims Z. *et al.*, 1999; Pilgramm M. und Bock K., 1994; Spreng M., 1994]. Für Industrieerläusche wurde gezeigt, dass Impulslärm eine größere Schädlichkeit als Dauerlärm gleichen äquivalenten Schallpegels besitzt, jedoch erst oberhalb von äquivalenten Dauerschallpegeln von ca. 115 dB(A) [Roberto M *et al.*, 1985]. Als Ursache dafür wird das häufigere Erreichen knalltraumatischer Schalldruckspitzen im Zeitverlauf des Geräusches angesehen [Pilgramm M. und Bock K., 1994]. Das Einschwingverhalten der Basilarmembran im Innenohr wird mit 0.3 bis 3.0 ms (im Frequenzbereich 16 Hz bis 1 kHz) angegeben [Spreng M., 1994]. Da die mechanische Einschwingzeit des Mittel-Innenohrsystems insgesamt somit bei etwa 1 ms liegt, wird bei Impulsdauern, die länger als 1 ms anhalten, das Innenohr mit der vollen Schalldruckspitze belastet [Dieroff H.-G., 1994c]. Solche langen Impulse werden daher als besonders gehörschädigend angesehen.

Schallpegelspitzen mit Impulsdauern im μ s-Bereich erzeugen Stoßwellen, die ungedämpft das Mittelohr passieren [Dieroff H.-G., 1994b]. Für die mechanische Beanspruchung bei solchen kurzen Schalldruckspitzen mit entsprechend steilen Anstiegsflanken ist wegen der längeren bzw. trägeren Einschwingzeit der Basilarmembran in erster Linie wohl die eingespeiste Schallenergie und nicht der Schalldruckspitzenwert für die Schadensbildung verantwortlich [Price G. R. und Kalb J. T., 1991; Price G. R. und Kalb J. T., 1998; Spreng M., 1994]. Entsprechend wird die Allgemeingültigkeit des Schallpegel-Spitzenwertkriteriums von 140 dBpeak (= 200 Pa) als Wirkungsschwelle mitunter in Frage gestellt [Smooenburg G. F., 1998; Walger M. und Kühner D., 1999]. Andererseits kommt es nach neuen Erkenntnissen schon bei niedrigeren Pegelspitzen zu Läsionen feiner Eiweißfäden zwischen den Stereozilien der Haarzellen („Tip-Links“). Dies beeinträchtigt den über Transduktionskanäle stattfindenden Kalium/Calcium-

Stoffwechsel zwischen der Endolymphe und dem Zellinneren und damit das Depolarisationsverhalten der Zelle, was eine Schädigung des cochleären Verstärkers zur Folge hat [Meyer J., 2000; Meyer J. und Gummer A. W., 2000].

Die Lautheitsempfindung und die Schädigungspotenz stimmen bei Impulsschall nicht überein. Ein Lautheitseindruck, der den Schallpegel widerspiegelt, benötigt aufgrund zentraler Verarbeitungsprozesse ein etwa 100-120 ms langes Schallereignis. Impulse mit Zeitdauern unter 100 ms werden daher als weniger laut empfunden. Insofern sind Innenohrschäden bei Impulsschall möglich, ohne dass der Schall von den Betroffenen als besonders laut empfunden wird. Im Tonaudiogramm manifestieren sich durch breitbandigen Dauerlärm hervorgerufene Hörverluste deutlich im Bereich der c5-Senke, d. h. bei den Testfrequenzen von 3-6 kHz (Hochtonbereich). Bei vorwiegendem Impulslärm lassen sich Hörschwellenverschiebungen sowohl im Hochtonbereich als auch im erweiterten Hochtonbereich (≥ 10 kHz) nachweisen [Dieroff H.-G., 1994c; Fausti S. A. *et al.*, 1981]. Da die Dauerschallpegel von Musik von regelmäßigen Pegelspitzen überlagert sind, sind Hörverluste bei hohen Musikscharpegeln somit prinzipiell in beiden audiometrischen Testbereichen (Hochton- und erweiterter Hochtonbereich) zu erwarten [Babisch W. *et al.*, 1988; Burén M. *et al.*, 1992; Ising H. *et al.*, 1986; Serra M. R. *et al.*, 2000]. Bei Dauerlärm wird der klinische Anwendungsbereich der Audiometrie im erweiterten Hochtonbereich dagegen vorwiegend darin gesehen, lärmempfindliche (im gehörphysiologischen Sinn) Personen zu identifizieren und lärmbedingte Hörschäden (im konventionellen Audiometriebereich) von der Presbyakusis (altersbedingte Schwerhörigkeit) besser differenzieren zu können [Laukli E. und Mair I. W. S., 1985; Osterhammel D., 1979].

I. 2.6 Akustischer Reflex

Das Mittelohr verfügt über einen Schutzreflex (Stapediusreflex, akustischer Reflex), der dazu führt, dass bei größeren Schallstärken über ca. 75-90 dB durch Muskelkontraktion die Impedanz des Mittelohres vergrößert und damit die Energieübertragung vermindert wird (die maximale Dämpfung beträgt ca. 10-20 dB bis zu Frequenzen von 2000 Hz) [Kerry G. *et al.*, 1998; Spreng M., 1994]. Bei höheren Frequenzen ist der Reflex praktisch unwirksam. Die Latenzzeit für die Auslösung des Reflexes liegt in Schwellennähe bei ca. 150 ms und bei Schallpegeln, die die maximale Kontraktion bewirken, bei ca. 35 ms. Hinzu kommen noch 150 bis

500 ms bis die maximale Kontraktion erreicht wird [Kerry G. *et al.*, 1998; Spreng M., 1994]. Weiterhin ist zu beachten, dass der Schutzreflex nur etwa 1 s lang einem kurzen Impulsereignis nachwirkt. Bei zeitlichen Abständen von ca. 2.4 s oder mehr zwischen Einzelimpulsen wirkt jeder Einzelimpuls daher in voller Stärke, d. h. er bewirkt die maximale Schädigung. Bei kürzeren Impulsfolgen hingegen werden Hörschäden vermutlich geringer, weil jeder Impuls auf das impedanzveränderte Ohr durch den vorangegangenen Impuls trifft. Der Übergang von intermittierenden Geräuschen zu einem Quasi-Dauergeräusch ist bei Intervallen von weniger als 1 s zwischen den Impulsspitzen anzusetzen [Dieroff H.-G., 1994c]. Bei kontinuierlichen Schallen kann der akustische Reflex bis zu mehreren Minuten anhalten [Kundi M. *et al.*, 1982; Wilson R. H. *et al.*, 1978]. Es erfolgt jedoch eine starke Adaption über die Zeit hinweg [Kerry G. *et al.*, 1998], so dass der schadensmindernde Einfluss des Stapediusreflexes bei Dauerlärm insgesamt als vernachlässigbar angesehen wird [Dieroff H.-G., 1994c].

In Tierexperimenten wurde gezeigt, dass Dauerschall, der von sehr hohen Impulsspitzen (im μ s-Bereich) mit Pegeln über 155 dB_{peak} überlagert war, gehörschädigender war als die Summe der Einzelbelastungen (synergistischer Effekt) [Hamernik R. P. *et al.*, 1974]. Bei niedrigeren Spitzenpegeln konnte dies jedoch nicht bestätigt werden (zitiert bei [Kundi M. *et al.*, 1982]). Möglicherweise verstärken bzw. verlängern in Dauerlärm eingebettete Impulse die durch den Dauerlärm hervorgerufene Kontraktion der Mittelohrmuskulatur. Die überlagerten Impulsanteile hätten dann einen protektiven Einfluss. Dieser Effekt war in Experimenten zur temporären Hörschwellenverschiebung (TTS) bei schneller Impulsfolge stärker als bei seltenerer Folge (4 Schläge/s gegenüber 0.25 Schläge/s) [Kundi M. *et al.*, 1982]. Niedrige relative Impulsspitzen, die nur 6-12 dB über dem Schallpegel des Dauerlärms lagen, zeigten im Vergleich zu relativ höheren Impulsspitzen bei kombinierter Belastung die stärkste TTS-Reduktion gegenüber gleicher Dauerlärmbelastung ohne Impulsanteile [Walker W. D., 1972].

I. 3 Phänomenologie des lärmbedingten Hörverlustes

I. 3.1 Norm-Hörschwelle

Innenohrschäden entwickeln sich in Folge der Einwirkung hoher Schallintensitäten bei Schalldruckpegeln oberhalb von etwa 80 dB(A). Bei Schallereignissen von 120 dB(A) - das entspricht gegenüber 80 dB(A) einer Verzehntausendfachung der einwirkenden Schallintensität (10 dB = Verzehnfachung) - können schon kurze wöchentliche Einwirkzeiten im Bereich von wenigen Minuten für die Entstehung irreversibler Innenohrschäden ausreichen. In dem Internationalen Standard ISO 1999 und der VDI-Richtlinie 2058 sind Berechnungsverfahren angegeben, mit deren Hilfe der zu erwartende Hörverlust für lärmexponierte Personengruppen abgeschätzt werden kann [ISO 1999, 1990; VDI-Richtlinie 2058 Bl. 2, 1988]. Sie beruhen auf empirischen Daten tonaudiometrischer Untersuchungen an großen Bevölkerungskollektiven, die beruflich hohen Arbeitslärmpegeln ausgesetzt waren. In Abhängigkeit von der Schallexposition (Schalldruckpegel und Dauer) der untersuchten Personen werden in den Regelwerken Abweichungen von der Normhörschwelle angegeben. Die Normhörschwelle ist ebenfalls empirisch ermittelt worden und in verschiedenen Regelwerken wiedergegeben [DIN 45630, 1967; DIN ISO 7029, 1984; ISO R 226, 1961]. Da es erhebliche individuelle Unterschiede bei der Hörfähigkeit und der Vulnerabilität bei der Entwicklung eines lärmbedingten Hörverlustes gibt, werden die Abschätzungen üblicherweise für verschiedene Fraktile der Population vorgenommen (Schutzstrategien beziehen sich z. B. häufig auf das 95%- bzw. 5%-Perzentil der Summenhäufigkeitsverteilung).

I. 3.2 Abschätzung des lärmbedingten Hörverlusts

Nach der ISO 1999 ("data base A") läßt sich der Hörverlust abschätzen, den otologisch normalhörende Personen in Abhängigkeit von der Lärmexposition und den Expositionsjahren aufweisen [ISO 1999, 1990]. **Abb. 11** zeigt entsprechende Kurven für den Luftleitungshörverlust bei 3 kHz, den z. B. 15jährige, die 5 bzw. 10 Jahre lang an 5 Arbeitstagen in der Woche 8 Stunden lang - d. h. also 40 Stunden in der Woche - verschiedenen äquivalenten Dauerschallpegeln ausgesetzt sind, entwickeln werden. Im Gruppenmittel (50. Perzentil der Summenhäufigkeitsverteilung) entwickeln die Exponierten bei einer äquivalenten Dauerschallbelastung von

90 dB(A) einen lärmbedingten Hörverlust von ca. 6 bzw. 9 dB bei dieser Frequenz und bei einem äquivalenten Dauerschallpegel von 95 dB(A) einen lärmbedingten Hörverlust von ca. 12 bzw. 16 dB. Etwa 10% (10. Perzentil der Summenhäufigkeitsverteilung) - die Empfindlichen - entwickeln Gesamthörverluste von ca. 19 bzw. 23 dB (Dauerschallpegel = 90 dB(A)) und 28 bzw. 34 dB (Dauerschallpegel = 95 dB(A)). Von diesem Gesamthörverlust sind 11 dB auf andere Ursachen wie Alter und die große interindividuelle Streuung der Hörfähigkeit in einer Population zurückzuführen.

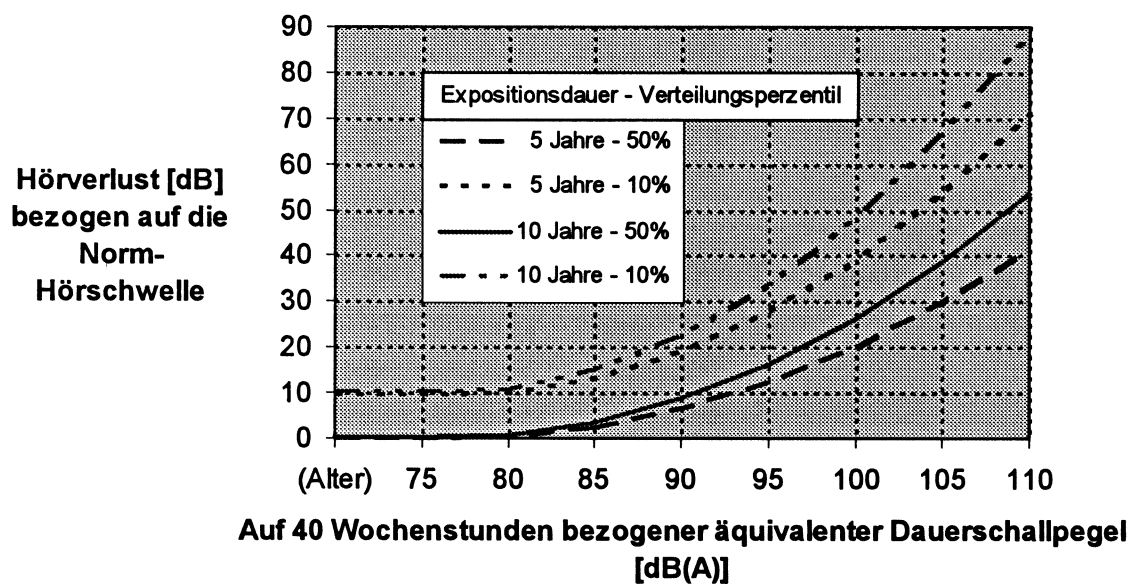


Abb. 11: Zu erwartender Hörverlust bei der audiometrischen Testfrequenz von 3 kHz für unterschiedliche Expositionsbedingungen

I. 3.3 Sprachverständlichkeit

Schon bei einer Hörminderung von 20 dB bei 3 kHz ist wegen der fehlenden Feinanalyse akustischer Signale die Satzverständlichkeit bei normaler Sprachlautstärke um 10% vermindert und somit die Sprachverständlichkeit merkbar beeinträchtigt [Kryter K. D., 1963; Kryter K. D., 1970]. Dies korrespondiert mit anderen Angaben, wonach ein Hochfrequenz-Hörverlust von 30 dB (Mittelwert bei 2-4 kHz) zu Beeinträchtigungen der Kommunikation im Alltagsleben führt [Committee of the Health Council of the Netherlands, 1996; Passchier-Vermeer W. *et al.*, 1998]. Entsprechend ist auch der Höreindruck beim Musikhören verschlechtert. Weiterführen-

de Angaben zur Beeinträchtigung der Sprachverständlichkeit und der Kommunikation in Abhängigkeit vom Hörverlust sind an anderer Stelle zusammengefasst [Gruber J., 1975; HVBG, 1991; Miyakita T. und Miura H., 1986; Plath P., 1981; Roeser R. J. und Price D. R., 1981]. Eine Hörminderung wirkt sich in unterschiedlicher Weise auf das Verstehen von Vokalen und Konsonanten der Sprache aus [Downs M. P., 1981; Spreng M., 1984].

I. 3.4 Schallpegel-Kriterien aus dem Arbeitsschutz

Zum Schutz vor einer berufsbedingten Lärmschwerhörigkeit im Sinne der Berufskrankheitenverordnung (BeKV, BK 2301) und damit verbundener Minderung der Erwerbstätigkeit [HVBG, 1991; Meyer-Falcke A., 1994; Pfander F. *et al.*, 1994; Plath P., 1984; Plath P., 2000] ist nach der Unfallverhütungsvorschrift Lärm bzw. der europäischen Richtlinie 86/188 vorgeschrieben, dass bei Beurteilungspegeln ab 85 dB(A) persönliche Schallschutzmittel vom Arbeitgeber zur Verfügung zu stellen sind und ab Beurteilungspegeln von 90 dB(A) von den Versicherten auch zwingend benutzt werden müssen [Knör H., 2000; Richtlinie 86/188/EWG, 1986; UVV Lärm, 1997]. Mit persönlichen Schallschutzmitteln sind Kapselgehörschützer oder Gehörstöpsel gemeint. (Anmerkung zur Terminologie: Die Begriffe Schwerhörigkeit und Gehörschaden beziehen sich auf definierte Ausprägungen einer Hörminderung bzw. eines Hörverlusts [VDI-Richtlinie 2058 Bl. 2, 1988].) Der Beurteilungspegel entspricht bei breitbandigen Geräuschen dem gemittelten Schalldruckpegel (energetische Mittelung), der sich aus der Mittelung über die gesamte wöchentliche Arbeitszeit und bei Bezug auf eine 40-Stunden-Arbeitswoche ergibt. Bei dieser Grenzwert-Vereinbarung geht man davon aus, dass die weitest- aus größte Zahl der Betroffenen bei Lärmexposition über das gesamte Arbeitsleben hinweg vor der Entwicklung einer lärmbedingten Schwerhörigkeit im entschädigungsrechtlichen Sinn hinreichend geschützt ist [ISO 1999, 1990]. Das bedeutet nicht, dass keine Hörminderung auftreten kann. Bei diesem arbeitsmedizinischen Kriterium wird allerdings davon ausgegangen, dass eine hinreichende Zeit zur Gehörerholung von täglich mindestens 10 Stunden gewährleistet ist, in der der Schalldruckpegel 70 dB(A) nicht überschreitet [VDI-Richtlinie 2058 Bl. 2, 1988].

Bezieht man die Lärmbelastung nach dem "Iso-Energie-Prinzip" nicht auf 40 Arbeitsstunden pro Woche (5 Arbeitstage), sondern auf 98 Stunden pro Woche (7 Tage abzüglich täglich 10 Stunden für die Gehörerholung), so sinkt der kritische Wert für den energieäquivalenten Dau-

erschallpegel in dieser Zeit auf ca. 80 dB(A). Bei Beurteilungspegeln am Arbeitsplatz unter 75 dB(A) ist auch bei empfindlichen Personen eine Gehörgefährdung weitgehend ausgeschlossen [Consensus Development Panel, 1990; Ising H. *et al.*, 1995c; VDI-Richtlinie 2058 Bl. 2, 1988; WHO, 1980]. Durch Extrapolation aus arbeitsmedizinischen Daten und bei Berücksichtigung von Sicherheitszuschlägen wurde von der amerikanischen „Environmental Protection Agency“ ein Wert von 70 dB(A) für einen gehörnschädlichen 24h-Mittelungspegel formuliert (zitiert bei [Siervogel R. M. und Roche A. F., 1982]), der üblicherweise als Wirkungsschwelle angesehen wird [Committee of the Health Council of the Netherlands, 1996; Passchier-Vermeer W., 1993; WHO, 2000].

Für Impulsschallquellen in der Industrie werden einzelne Pegelspitzen von mehr als 200 Pa entsprechend 140 dB (in der Zeitbewertung „peak“, ohne Frequenzbewertung) als gehörschädigend eingestuft [Richtlinie 86/188/EWG, 1986]. Manche Autoren erachten das Kriterium als nicht universell anwendbar bzw. wirkungsgerecht für jedes beliebige Geräuscheignis und schlagen energiebezogene Beurteilungskriterien vor (z. B. SEL, 1h < 125 dB(A), für Knalle SEL < 116 dB, für Sinusimpulse SEL < 100 dB) [Hohmann B., 1988a; Walger M. und Kühner D., 1999] oder machen den zulässigen maximalen Impulspegel von der Anzahl der Ereignisse abhängig [Smootenburg G. F., 1993]. Bezogen auf andere Zeitbewertungen bei der Schallmessung werden 130 dB(AI) („Impulsbewertung“) [Richtlinie 86/188/EWG, 1986] bzw. 135 dB(AI) [VDI-Richtlinie 2058 Bl. 2, 1988] als kritische Schallpegel angegeben, wobei darauf hingewiesen wird, dass die Wirkungsschwelle für akute Gehörschäden wesentlich niedriger liegt - bei 120 dB(AI) -, wenn derartige Geräusche über Minuten hinweg auftreten [Plath P, 1994; VDI-Richtlinie 2058 Bl. 2, 1988].

I. 3.5 Arbeitsmedizinische Beurteilung von Hörtests

Nach den berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen ist gefordert, dass bei Beschäftigten in Lärmbereichen neben den audiometrischen Eignungsuntersuchungen zur Einstellung regelmäßig Überwachungsuntersuchungen durchzuführen sind [G 20 Lärm, 1998]. Personen bis zum Alter von 30 Jahren, die bei der Erstuntersuchung auf mindestens einem Ohr eine Vorschädigung in Form eines Luft- bzw. Knochenleitungshörverlustes von mehr als 15/15/20/25/25 dB bei einer der audiometrischen

Testfrequenzen 1/2/3/4/6 kHz aufweisen, gelten nach berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen als nicht geeignet für die Beschäftigung in Lärmbereichen [G 20 Lärm, 1998]. Die Anforderungen sind somit schärfer als in den früher gültigen Grundsätzen, wonach Personen, die eine Vorschädigung in Form eines Knochenleitungshörverlustes von mehr als 30 dB bei einer der tonaudiometrischen Testfrequenzen zwischen 0,5 und 8 kHz aufweisen, als nicht geeignet für die Beschäftigung in Lärmbereichen galten [Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e. V., 1976].

Ein lärmbedingter Gehörschaden liegt vor (Definition), wenn die durch Lärmeinwirkung entstandene Hörminderung bei der Frequenz 3 kHz den Wert von 40 dB überschreitet [G 20 Lärm, 1998]. Die Beschäftigung in Lärmbereichen ist nach den berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen bei fortschreitender Gehörschädigung nur noch unter bestimmten Voraussetzungen zulässig (z. B. Überwachung der Benutzung von persönlichem Schallschutz), wenn die Knochenleitungs-Hörverlustsumme in den Frequenzen 2, 4 und 4 kHz sich auf mindestens einem Ohr innerhalb eines Zeitraumes von höchstens 3 Jahren um mehr als 30 dB erhöht oder (bei 25-30jährigen) den Wert von 85 dB überschreitet. Dauernde gesundheitliche Bedenken sind gegeben, wenn auf dem besserhörenden Ohr bei 2 kHz der Hörverlust 40 dB erreicht oder überschreitet [G 20 Lärm, 1998]. Nach anderen Beurteilungskriterien liegt eine „geringgradige“ Schwerhörigkeit vor, wenn der Hörverlust bei 3 kHz über 40 dB und bei 2 kHz über 30 dB und bei 1 kHz über 15 dB beträgt, was einer 10prozentigen Minderung der Erwerbstätigkeit (MdE) entspricht [HVBG, 1991]. Eine 10prozentige MdE ist ebenfalls gegeben, wenn im Sprachaudiogramm ein beidseitiger Hörverlust von 20% vorliegt [HVBG, 1991].

I. 4 Musikschall in Diskotheken, Clubs, Rock-Konzerten u. ä.

I. 4.1 Vorbetrachtung

Im folgenden geht es darum, die bis hier vorwiegend allgemein gehaltenen Betrachtungen zum lärmbedingten Hörverlust auf das Musikschallproblem anzuwenden. Wenn von Diskotheken die Rede ist, bezieht sich die Terminologie auf den gesamten Komplex elektronisch verstärkter Musik an öffentlichen und gewerblichen Orten - also in Diskotheken, Clubs, bei Rock-Konzerten und ähnlichen Veranstaltungen mit Musikdarbietungen. Ausgenommen von den Betrachtungen ist das individuelle Musikhören über Kopfhörer oder die HiFi-Anlage, wie eingangs (Einleitung) ausgeführt. Bewegen sich die Musikschallpegel in vergleichbaren Größenordnungen wie beim Arbeitslärm? Sind die üblichen Expositionszeiten der Besucher unter Dosisgesichtspunkten gesundheitlich relevant? Zur Klärung dieser Fragen gibt es eine Reihe von Erhebungen, in denen Jugendliche nach ihren Musikhörgewohnheiten befragt und Schallmessungen in Diskotheken vorgenommen wurden. Die Ergebnisse sollen kurz zusammengefaßt werden und als Eingangsdaten für die Schadensabschätzung nach ISO 1999 dienen.

I. 4.2 Musikschallpegel in Diskotheken

Lärmmessungen, die stichprobenartig in Diskotheken und bei Live-Musikveranstaltungen durchgeführt wurden, führten auf Musikschallpegel zwischen 90 und 110 dB(A) (Effektivwert). Auf der Tanzfläche wurden häufig Mittelungspegel um oder über 100 dB(A) gemessen [Axelsson A., 1996a; Cherek D.R., 1985; Davis A. C. *et al.*, 1985; Hoffmann E., 1997; Irion H., 1979; Ising H. *et al.*, 1988; Jokitulppo J. S. *et al.*, 1997; Matschke R. G., 1993; Meyer-Bisch C., 1996; Prasher D., 1999; Rudloff F. *et al.*, 1996; Zimmermann S., 1994]. Über die Jahre hinweg ist keine Veränderung hin zu niedrigeren Musikschallpegeln zu beobachten [Axelsson A., 1996a; Clark W. W., 1991; Ising H. und Babisch W., 1998; Smith P. A. *et al.*, 2000]. Die preiswerte Verfügbarkeit leistungsstarker elektroakustischer Beschallungsanlagen fördert dies auch nicht [Axelsson A., 1996a]. Eine Untersuchung in Großbritannien kommt zu dem Ergebnis, dass im Vergleich zu den 80er Jahren in den 90er Jahren der Anteil von jungen Männern im Alter von 18-25 Jahren, der lauten Freizeitaktivitäten nachging, um mehr als das

3fache angestiegen war, wohingegen der Teil, der stark arbeitslärmbelastet war, sich in dem gleichen Zeitraum mehr als halbiert hat [Smith P. A. *et al.*, 2000].

Abb. 12 zeigt als Beispiel die Ergebnisse von Lärmmessungen, die in Berliner Diskotheken auf der Tanzfläche (ohne Vorankündigung) durchgeführt worden sind [Ising H. *et al.*, 1988]. Die Mittelungspegel lagen bei den insgesamt 29 gemessenen Diskotheken im Bereich zwischen 92 und 110 dB(A), wobei das Verteilungsmaximum deutlich über 100 dB(A) lag. Auch wurde festgestellt, dass die Lautstärke über die Nacht hinweg ansteigt, und zwar um knapp 2 dB/Stunde [Ising H., 1994]. Zunehmender Alkoholkonsum und eine größere Ausgelassenheit der Besucher, aber auch das Kompensieren der einsetzenden temporären Vertäubung (TTS) - auch beim Diskjockey - dürften dabei eine Rolle spielen.

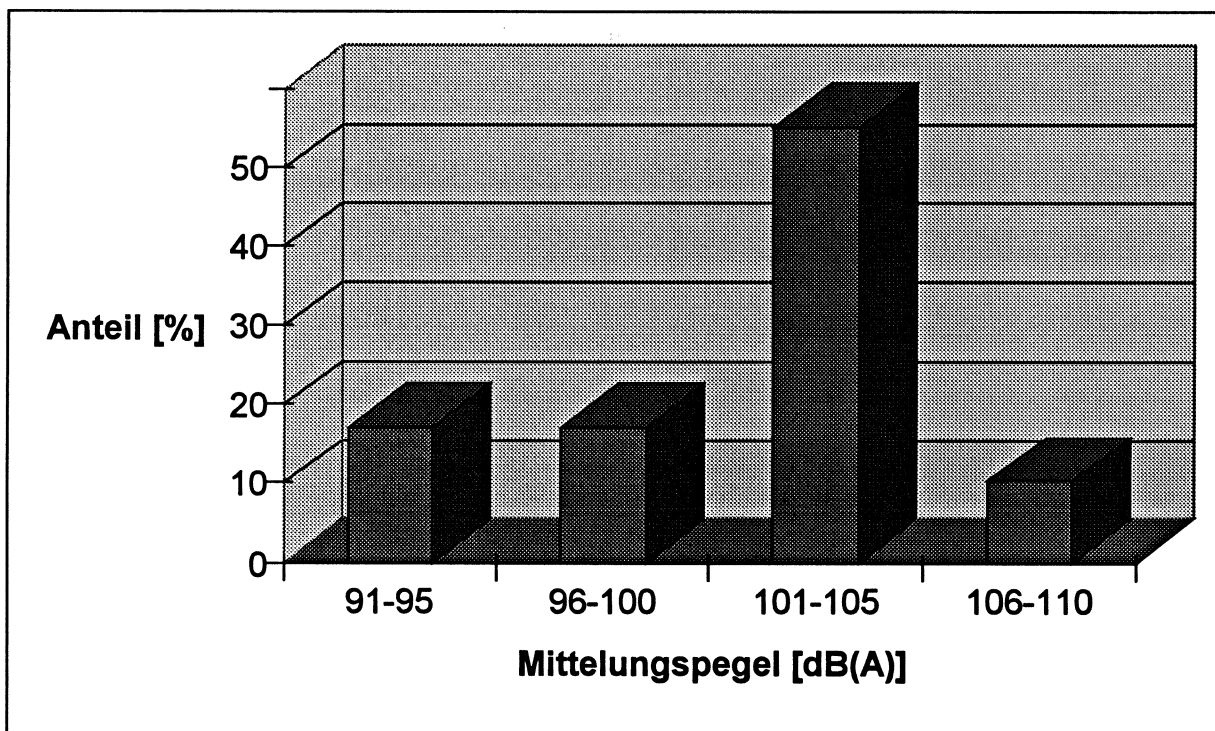


Abb. 12: Mittelungspegel auf der Tanzfläche in Diskotheken

I. 4.3 Prinzip der Energieäquivalenz

Unter Wirkungsgesichtspunkten ist es prinzipiell gleichwertig, ob ein hoher Schalldruckpegel kürzer oder ein niedrigerer Schalldruckpegel länger einwirkt, wenn die Gesamt-Schallenergie über die Zeit hinweg dieselbe ist. Praktisch spielt es dennoch eine gewisse Rolle, ob schallfreie Ruhezeiten zur Gehörerholung vorlagen oder nicht. Insofern sind die Abschätzungen auf der Grundlage der Energieäquivalenz als „worst case“-Abschätzungen im Sinne des vorbeugenden Gesundheitsschutzes anzusehen. Ein Anstieg/Abfall des Schalldruckpegels um 3 dB entspricht einer Verdopplung/Halbierung der Schallintensität [Babisch W. *et al.*, 1997]. Eine Verdopplung der Einwirkzeit ist deshalb genauso zu bewerten, als ob ein um 3 dB höherer Schalldruckpegel nur die Hälfte der Zeit einwirken und in der anderen Hälfte Ruhe herrschen würde. Ein Anstieg des Schalldruckpegels um 10 dB entspricht einer Verzehnfachung der einwirkenden Schallenergie, d. h., ein um 10 dB höherer Schalldruckpegel erzeugt dieselbe Wirkung in einem Zehntel der Zeit.

I. 4.4 Impulskomponenten von Musik

Die Abschätzungen des Gehörschadensrisikos durch Musik beruhen auf der Bewertung der äquivalenten Dauerschallbelastung, d. h., der akkumulierten Schallenergie als Noxe. Musik enthält aber auch Impulskomponenten [Borchgrevink H. M., 1993; Burén M. *et al.*, 1992; Voorhees R. L., 1970]. Sie treten üblicherweise im regelmäßigen Rhythmus der Musik auf (Schlagzeug, Percussion, Techno-Sounds). Die Bedeutung der Impulsanteile für die Abschätzung des Gehörschadensrisikos durch Musik wird gegenüber der des Dauerlärms im Allgemeinen eher als gering eingeschätzt.

Schlagzeug und andere perkussive Schlaggeräusche in der Musik sind aber durchaus mit industriellen Impulsgeräuschen zu vergleichen, die ebenfalls durch Schläge verschiedener Werkstoffe gegeneinander hervorgerufen werden. Techno-Musik wird mitunter wegen des Auftretens häufiger Schallspitzen in dieser Beziehung besonders argwöhnisch betrachtet. Da bei den meisten Stilrichtungen dieser Musik-Gattung die Anzahl der „Beats“ jedoch bei 2 Hz (120 Schläge pro Minute) liegt und der Dynamikbereich zudem relativ gering ist [Hétu R. und Fortin M., 1995], wird ein solches Schallereignis in seiner Wirkung im Allgemeinen durch den Mittelungspegel

recht gut beschrieben, d. h., es gelten die dem Dauerschallkriterium zugeordneten Schädigungsgrenzen. Die größte Hörgefährdung geht bei dieser Musik wahrscheinlich von den sehr langen Expositionszeiten während eines „Raves“ aus, die nicht selten mittels Drogenkonsum in die Länge gezogen werden [Hitzler R., 1996].

Bei elektroakustisch verstärkter Musik liegen im „Hi-Fi“-Bereich je nach Dynamik- aussteuerung auf dem Tonträger und der Qualität der Übertragungsanlage die Maximalpegel (Effektivwert, Zeitbewertung „fast“ des Messgeräts) innerhalb eines Musikstücks bzw. eines Messintervalls ca. 10-15 dB(A) über dem Mittelungspegel [Rudloff F. *et al.*, 1996; Turunen-Rise I. *et al.*, 1991; Zimmermann S., 1994] und die Pegelspitzen (Zeitbewertung „peak“: ca. 20 μ s) ca. 15-25 dB(A) darüber. In Diskotheken und bei Rock-Konzerten werden aber auch Unterschiede zwischen Spitzen- und Mittelungspegel von 30-40 dB(A) gemessen, wobei die Pegelspitzen im Zuhörerbereich 125-135 dBpeak (Frequenzbewertung „A“ oder „C“) betragen [Axelsson A., 1996a; Borchgrevink H. M., 1993; Rudloff F. *et al.*, 1996]. In Bühnennähe werden noch höhere Spitzenpegel, bis 150 dB(A)peak, erreicht [Prasher D., 1999]. Selbst in den Bar-Bereichen wird der kritische Wert für einzelne Spitzenpegel mitunter überschritten [Groothoff B. *et al.*, 1998]. Die maximale Schallenergie bei Musikbeschallung liegt üblicherweise im Frequenzbereich zwischen 250-1000 Hz [Axelsson A. und Lindgren F., 1981; Chew T. T., 1990]. In früheren Untersuchungen lag das gemessene Intensitätsmaximum dagegen in etwas höheren Frequenzbändern [Shirreffs J. H., 1974; Strauss P. und Chüden H., 1974]. Neuere Messungen unter Berücksichtigung derzeit aktueller Musikrichtungen lassen eine Verschiebung des Maximums im Frequenzspektrum hin zu noch tieferen Frequenzanteilen (40-125 Hz) erkennen [Babisch W. und Bohn B., 2000; Héту R. und Fortin M., 1995; Kühl J.-T., 1997]. Mit den in der HiFi-Beschallungstechnik üblichen und weit verbreiteten Frequenzfiltern („Equalizer“) wird der mittlere Frequenzbereich der Musik oft abgesenkt („U-förmiger“ Frequenzverlauf), was vom Klangeindruck her als angenehm empfunden wird („warmer“ Klang). Dies führt beim Nachregeln der Gesamtlautstärke zu einer relativen Anhebung der Bassfrequenzen und damit verbundener stärkerer Ganzkörperanregung, was hinsichtlich der möglichen Gehörschädigung, relativ gesehen, durchaus als günstig einzustufen ist [Dieroff H.-G., 1994a; Schmidt J. M. *et al.*, 1994; Strauss P. und Chüden H., 1974]. Es werden gegenüber dem Ausgangssignal aber auch die Pegelspitzen höherfrequenter Anteile der Musik entsprechend angehoben, wodurch ein transparenter und brillanter Klangeindruck erzeugt wird [Héту R. und Fortin M., 1995]. Dies könnte mit ein Grund für die häufig festgestellten großen Pegeldifferenzen

zwischen mittleren Schallpegeln und „peak“-bewerteten Pegelspitzen sein. Vergleiche zwischen der mittleren freifeldbezogenen Hörschwelle [ISO R 226, 1961] und typischen heutzutage eingestellten Musikspektren in Diskotheken lassen eine auffällige Parallelität erkennen [Hétu R. und Fortin M., 1995].

I. 4.5 Individuelle Faktoren der eingestellten Musiklautstärke

Aussagen über individuelle Unterschiede in der bevorzugten Musiklautstärke bei den Konsumenten lassen sich aus Experimenten ableiten, in denen Jugendliche ihre normale Musiklautstärke beim Hören über HiFi-Geräte oder portable Musikabspielgeräte einstellten. Demnach stellen Jungen vergleichsweise häufiger hohe Schallpegel ein als Mädchen [Hanel J., 1996; Schuschke G. *et al.*, 1994]. Dies konnte auch in ausländischen Untersuchungen bestätigt werden [Passchier-Vermeer W. *et al.*, 1998; Smith P. A. *et al.*, 2000]. Männliche Musikhörer neigen wohl zu einem aggressiveren Umgang mit lauter Musik und setzen sich ganz allgemein häufiger lauten Schallquellen aus, weshalb sie in Hörtests zumeist schlechtere Hörschwellen aufweisen als Mädchen [Axelsson A. *et al.*, 1987; Burén M. *et al.*, 1992; Jokitalppo J. S. *et al.*, 1997; Mercier V. *et al.*, 1998; Neyen S., 1999; Rytznér B. und Rytznér C., 1981].

Allerdings drehen sich die Zusammenhänge bisweilen um, wenn man nur die Diskothek-Besuchshäufigkeit und nicht die Lautstärke als Expositionsparameter betrachtet. Mädchen verbringen zum Teil mehr Zeit in solchen Orten [Neyen S., 1999; Schuschke G. *et al.*, 1994]. Dies ist in Abhängigkeit vom Alter und dem geschlechtsspezifischen unterschiedlichen körperlichen und sozialen Entwicklungsstand in der betreffenden Altersgruppe zu sehen.

Musik wird in hohem Maße zur Entspannung eingesetzt, um aus dem Alltag auszusteigen, Schwierigkeiten zu vergessen, alternative Bewusstseinszustände zu erreichen oder sich ganz einfach zurückzuziehen. Musik kann die Bedeutung einer Droge erlangen - im positiven wie negativen Sinn [Bolin N., 1992]. In einer Untersuchung zeigte sich ein interessanter sozialpsychologischer Aspekt, der in **Abb. 13** wiedergegeben ist. Diejenigen Jugendlichen, die mit ihren schulischen Leistungen nach eigenen Angaben „sehr zufrieden“ waren, wählten deutlich weniger häufig gehörgefährdende Walkman®-Einstellpegel, über 93 dB(A), als diejenigen, bei denen das „nicht so klappte“ [Hanel J., 1996; Hanel J., 1998]. Offensichtlich wurde lautes Musikhö-

ren von den Schülern zur Verdrängung von Problemen und Frustrationen eingesetzt. Andere Untersuchungen konnten dies nicht bestätigen [Passchier-Vermeer W. *et al.*, 1998]. Inwieweit das individuelle Musikhörverhalten Konflikte, Kommunikations- und Identifikationsprobleme im Sinne einer „Flucht aus der Realität“ widerspiegelt, wird unterschiedlich diskutiert [Hanel J., 1998; Hitzler R., 1996; Rebentisch E. *et al.*, 1996; Rudloff F. *et al.*, 1995]. Eine Umgebung mit lauter Musik „schützt“ vor Kommunikationsanforderungen, was insbesondere bei der Kontaktaufnahme und der Annäherung von Jugendlichen unterschiedlichen Geschlechts im Hinblick auf das Preisgeben von persönlichen Defiziten eine Rolle spielt. Andererseits ermöglicht eine sehr laute Umgebung zum Zweck der Verständigung das Eindringen in den „personal space“ des Gegenübers, was sonst ein sozial unakzeptiertes Verhalten darstellt [Clark W. W., 1991].

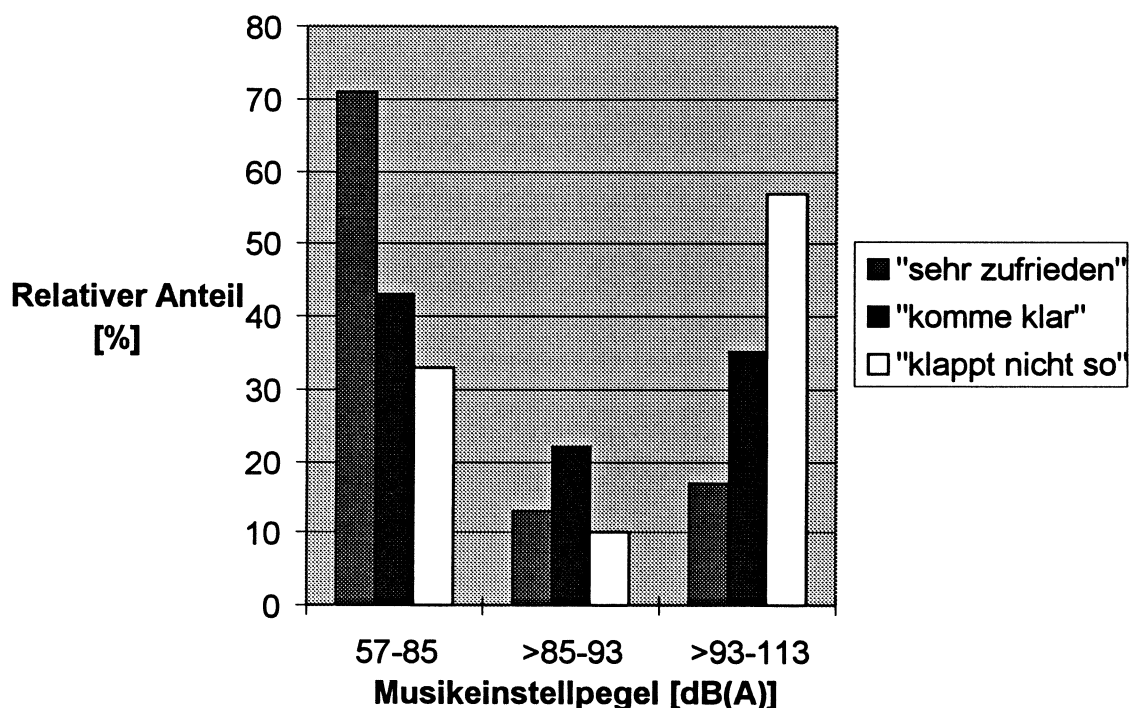


Abb. 13: Musiklautstärke am Walkman® in Abhängigkeit von schulischen Leistungen

Der Schultyp (als Indikator für den Sozialstatus) hatte ebenfalls einen Einfluß auf die Hörgewohnheiten. Abb. 14 kann entnommen werden, dass Gymnasiasten signifikant leiser und weniger Walkman® hörten als Vertreter anderer Schultypen [Hanel J., 1996; Hanel J., 1998; Ising

H. und Babisch W., 1998; Ising H. *et al.*, 1997]. Angegeben ist der Musik-Beurteilungspegel (auf 40 Wochenstunden bezogen) unter Berücksichtigung der gewählten Einstellpegel und der mit einem Fragebogen erhobenen Benutzungshäufigkeit der Geräte. Mit höherem Schulstatus nahm der Anteil von Schülern mit einer äquivalenten Musik-Dauerschallbelastung von 90 dB(A) und mehr ab. Dahinter verbirgt sich kein Alterseffekt, denn die Untersuchungsstichprobe wurde für diese Auswertungen auf ein Alter von 17 Jahren beschränkt. Untersuchungen zum Diskothek-Besuchsverhalten ergaben, dass die Jugendlichen häufiger in Diskotheken gingen, je niedriger der schulische Bildungsstand war [Babisch W. und Ising H., 1994a; Epidemiologische Forschung Berlin, 1996; Struwe F. *et al.*, 1996].

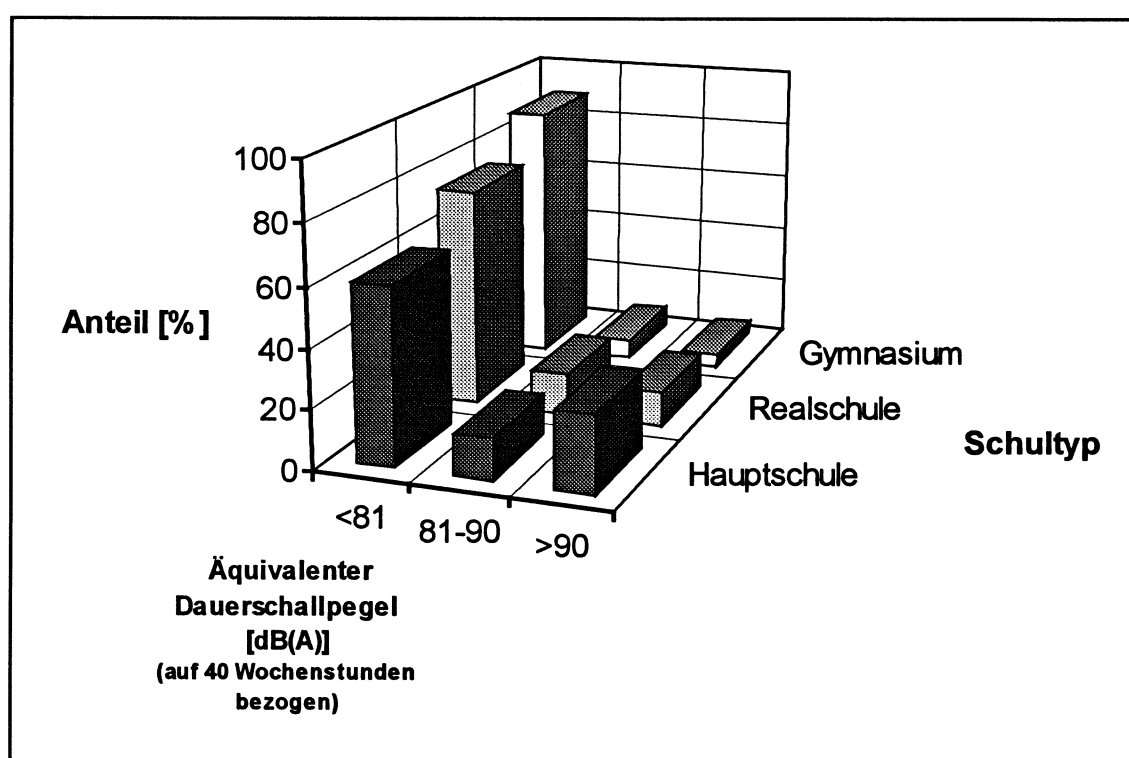


Abb. 14: Musikexposition in Abhängigkeit vom Schultyp

I. 4.6 Modifizierende Faktoren auf das Gehörschadensrisiko

Insgesamt ist - unabhängig von der Dauerschallproblematik - davon auszugehen, dass von den in der Musik eingebetteten Impulsspitzen unter bestimmten Bedingungen eine zusätzliche Gehörgefährdung ausgehen kann. Andererseits sind aber auch protektive Mechanismen denkbar, die auf den in Kapitel I. 2.6 beschriebenen Mechanismen beruhen. Letzteres könnte mit einer Erklärung dafür sein, warum bei Rock- und Orchester-Musikern mitunter geringere Hörverluste festgestellt werden als nach dem Iso-Energieprinzip der ISO 1999 zu erwarten wären [Axelsson A. und Lindgren F., 1981; Fearn R. W., 1989b; Schmidt J. M. *et al.*, 1994]. Es gibt aber auch andere Erklärungsmöglichkeiten. In der Literatur finden sich Hinweise darauf, dass durch moderate Schallbelastung eine Konditionierung möglich ist, die das Gehör gegenüber folgender hoher Schallexposition unempfindlicher macht. In Tierexperimenten wurden protektive Effekte bezüglich des Hörverlusts in der Größenordnung von bis zu 20 dB festgestellt [Canlon B. *et al.*, 1988; Henselman L.W. *et al.*, 1994].

Der gesamte physiologische und metabolische Status des Hörsystems kann den Grad der Hörschädigung beeinflussen. Ein Einflussfaktor ist die Innenohrdurchblutung. Es wird angenommen, dass Faktoren, die das Herz-Kreislaufsystem beeinflussen (Vasokonstriktion/Vasodilatation) auch die Suszeptibilität des Gehörs beeinflussen [Manninen O., 1985; Ward W. D., 1995]. So könnten eine positive Einstellung zum Geräusch bzw. durch Lärmstress hervorgerufene vasokonstriktive Prozesse im Innenohr die Ermüdungsprozesse der Haarzellen und Stereozilien in die eine oder andere Richtung möglicherweise beeinflussen. In Experimenten wurde z. B. geprüft, ob die als angenehm empfundene Musik gegenüber einem unangenehmen Geräusch gleichen Schallpegels, gleicher Frequenzzusammensetzung und gleichen Zeitverlaufs (z. B. durch Vorwärts- und Rückwärtsabspielen der Musik bzw. randomisiertem Frequenz-Zeitverlauf) eine geringere TTS (temporäre Hörschwellenverschiebung) hervorruft [Babisch W. *et al.*, 1985; Lindgren F. und Axelsson A., 1983; Swanson S. J. *et al.*, 1987] oder Geräusche unterschiedlicher subjektiver Wertigkeit (Strafe/Belohnung) das Ausmaß der TTS beeinflussen [Gruber J. und Camp U. de, 1982; Hörmann H. *et al.*, 1970]. Die Ergebnisse bewegten sich in der Größenordnung von ca. 2-5 dB im Gruppenmittel im Sinne der Hypothese, d. h., der Ausprägung einer geringeren TTS bei positiver Wertigkeit des Geräusches, was einen, relativ betrachtet, leicht protektiven Effekt erkennen lässt. Insgesamt wird die Evidenz des Ein-

flusses mentaler Faktoren auf die Lärmempfindlichkeit des Gehörs jedoch als gering eingeschätzt [Ward W. D., 1995].

In anderen Untersuchungen wurden bei Testpersonen unter kombinierter Lärm- und körperlicher Belastung etwas größere TTS-Werte (Größenordnung 2-3 dB bei 6 kHz) beobachtet als bei gleicher Lärmbelastung allein [Lindgren F. und Axelsson A., 1988]. Als Ursachen dafür wurden keine Veränderungen der Blutzirkulation diskutiert, sondern ein durch körperliche Bewegung hervorgerufener leichter Temperaturanstieg des Blutes und infolgedessen auch in der Cochlea. Aus anderen Untersuchungen ist bekannt, dass die Verminderung der Körpertemperatur einen protektiven Einfluss auf die Entwicklung eines lärmbedingten Hörschadens hat [Canlon B. *et al.*, 1988; Lindgren F. und Axelsson A., 1988]. Da Musikhören in bestimmten Situationen mit großer körperlicher Aktivität verbunden ist (Tanzen), wäre sogar ein entsprechender, die lärmbedingten Gehörschäden bei Diskothekbesuchern leicht verstärkender, Einfluss denkbar.

Möglicherweise sind einige der angesprochenen Einflüsse in Verbindung mit bestimmten Musikhörgewohnheiten zumindest teilweise wirksam. Auch direkte oder indirekte Wechselwirkungen mit Alkohol und Drogen [Thomasius R. und Jarchow C., 1997] dürften eine Rolle spielen. Inwiefern die bei TTS-Experimenten beobachteten Effekte tatsächlich einen modifizierenden Einfluss auf die Entstehung einer lärmbedingten PTS (permanente Hörschwellenverschiebung) haben könnten, bleibt wegen des nicht eindeutigen Zusammenhanges zwischen TTS und PTS jedoch unklar. Unter bestimmten Bedingungen (Dauerlärm, Frequenzspektrum) wurden zwar Zusammenhänge zwischen TTS und PTS nachgewiesen [Glorig A. *et al.*, 1961; Laroche C. *et al.*, 1989], es überwiegt jedoch die Ansicht, dass das Ausmaß einer bleibenden Hörschwellenverschiebung aus TTS-Experimenten nicht vorherbestimmt werden kann [Davis A. C. *et al.*, 1985; Dieroff H.-G., 1994a; Kryter K. D. *et al.*, 1966; Rintelmann W. F. *et al.*, 1971]. Temporäre Hörschwellenverschiebungen (TTS₂) nach längerem Musikhören bei hohen Musikschallpegeln, wie sie in Diskotheken vorliegen, liegen üblicherweise in einer Größenordnung von 10-15 dB bei 4 kHz [Babisch W. *et al.*, 1985; Dey F. I., 1970; Speaks C. *et al.*, 1970; Zenner H.P. *et al.*, 1999].

I. 4.7 Besuchshäufigkeit von Diskotheken

In einer Übersichtsarbeit wurden die Ergebnisse mehrerer Untersuchungen im deutschsprachigen Raum zum Thema Musikhörgewohnheiten von Jugendlichen zusammengefasst [Babisch W. und Ising H., 1994a]. Die Auswertung der Befragungsergebnisse bei ca. 10'000 Jugendlichen im Alter zwischen 12 und 18 Jahren ist in **Abb. 15** in Form von altersspezifischen Summenhäufigkeitsverteilungen aufgetragen. Demnach gehen die 12- bis 18jährigen im Mittel je nach Alter 1- bis 2mal im Monat in eine Diskothek. Dies mag weniger sein, als man vielleicht annehmen würde. Erwartungsgemäß steigt die Besuchshäufigkeit mit zunehmendem Alter etwas an. Personen, die Diskotheken nicht besuchen, sind in diese Betrachtungen eingeschlossen, was den Mittelwert „nach unten zieht“. Betrachtet man jedoch die Randgruppen der Verteilung, so ist festzustellen, dass ca. 10% der Befragten mindestens 1-2mal in der Woche eine Diskothek oder ähnliches aufsuchen und ca. 5% der über 15jährigen wenigstens 2mal in der Woche (8mal im Monat).

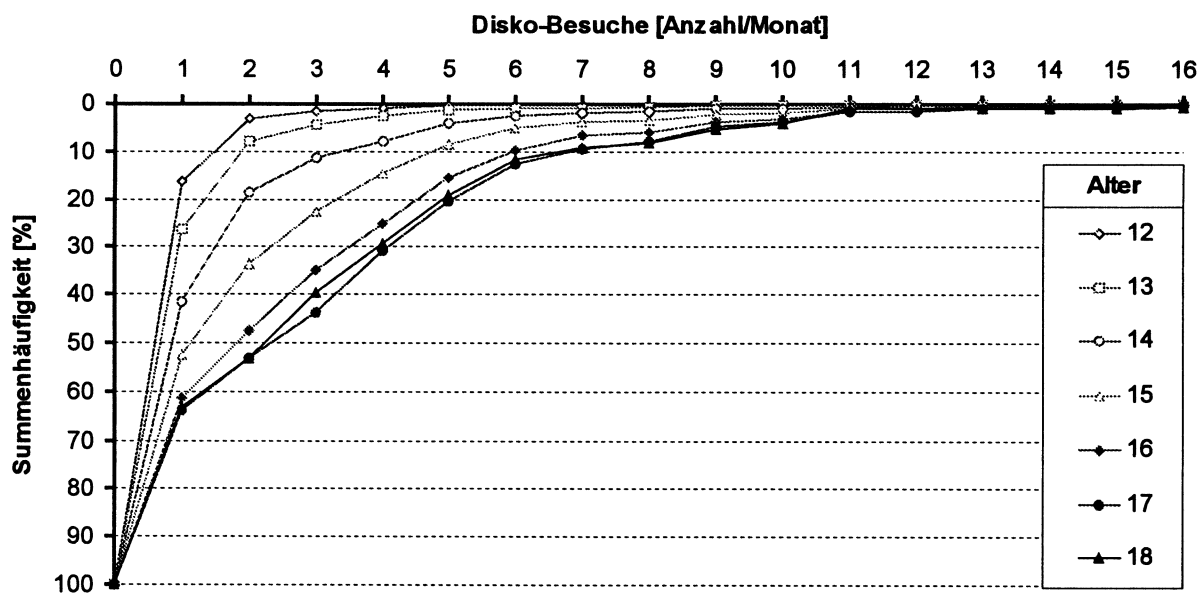


Abb. 15: Summenhäufigkeitsverteilung von Diskothekbesuchen pro Woche

Neuere Arbeiten kommen scheinbar auf höhere Zahlen [Epidemiologische Forschung Berlin, 1996; Hoffmann E., 1997; Schuschke G. *et al.*, 1994; Struwe F. *et al.*, 1996]. Berücksichtigt man jedoch die jeweils betrachteten Altersgruppen und die Tatsache, dass die Angaben in der Literatur sich zumeist auf diejenigen beschränken, die überhaupt entsprechende Orte aufsuchen, so erscheinen die ermittelten Expositionszeiten insgesamt recht einheitlich und über die Jahre hinweg nicht wesentlich verändert. Bei Einschluss der Nicht-Diskothekengänger liegt die durchschnittliche Häufigkeit auch in diesen Untersuchungen bei weniger als einem Besuch pro Woche. Dies bestätigte sich auch wieder in der im Teil II dieses Berichts beschriebenen Erhebung [Babisch W. und Bohn B., 2000]. Über ähnliche Ergebnisse wurde auch in anderen mitteleuropäischen Ländern berichtet [Axelsson A. *et al.*, 1981b; Passchier-Vermeer W. *et al.*, 1998; Smith P. A. *et al.*, 2000]. Auch Über-20jährige besuchten im Mittel etwa einmal bzw. 4 Stunden pro Woche eine Diskothek/Nachtclub.

Das Einstiegsalter für Diskothekbesuche liegt im Mittel bei 14 bis 16 Jahren [Hoffmann E., 1997; Passchier-Vermeer W. *et al.*, 1998; Schuschke G. *et al.*, 1994]. Ab dem 20. Lebensjahr nimmt die mittlere Diskothekbesuchshäufigkeit wieder ab [Babisch W. und Ising H., 1994a; Struwe F. *et al.*, 1996]. Das ist anders als bei der Benutzung portabler Musikabspielgeräte (mit Kopfhörern), wo die intensivste Nutzungsperiode zwischen dem 12. und 17. Lebensjahr liegt [Smith P. A. *et al.*, 2000; West P. D. B. und Evans E. F., 1990]. Insofern ist es insgesamt in etwa gerechtfertigt, von 10 Jahren intensiven Musikhörens bei Jugendlichen auszugehen. Die mittlere Aufenthaltsdauer pro Diskothekbesuch wird in den verschiedenen Untersuchungen mit 3-4 Stunden angegeben [Hoffmann E., 1997; Schuschke G. *et al.*, 1994]. Allerdings verbringen 10%-15% der Befragten jeweils 6 und mehr Stunden dort.

I. 5 Gehörschäden durch Musik

I. 5.1 Risikoabschätzung

Das Prinzip der Energieäquivalenz und das empirische Hörverlust-Modell der ISO 1999 [ISO 1999, 1990] besagen, dass ein Geräusch mit einem um 10 dB höheren Schallpegel in 1/10 der Zeit dieselbe Gehörschädigung hervorruft wie das entsprechend unveränderte Geräusch in der gesamten Einwirkzeit. Dies gilt näherungsweise für Beurteilungspegel zwischen 75(A) und 100 dB(A) [VDI-Richtlinie 2058 Bl. 2, 1988]. Zieht man die gewonnenen Informationen zur Abschätzung des Gehörschadensrisikos heran (100 dB(A) Mittelungspegel, 1 Diskothekbesuch pro Monat, 4 Stunden Aufenthaltszeit pro Besuch), so ergibt sich, dass ein entsprechender Diskothekbesuch pro Woche hinsichtlich des Gehörschadensrisikos genauso zu bewerten ist wie ein Beurteilungspegel von 90 dB(A) über eine 40h Arbeitswoche hinweg - wo im Arbeitsleben nach der Unfallverhütungsvorschrift Lärm vergleichsweise Gehörschutz getragen werden muss (bzw. 93 dB(A) in 20 Wochenstunden oder 96 dB(A) in 10 Wochenstunden).

Wenn man die ermittelten Schallpegel in Diskotheken (und beim Walkman®-Hören) zugrunde legt und diese nach dem Prinzip der Energieäquivalenz mit der Besuchshäufigkeit (bzw. der Benutzungshäufigkeit der tragbaren Abspielgeräte) verknüpft, kommt man anhand der Berechnungsgrundlagen der ISO Richtlinie 1999 [ISO 1999, 1990] zu folgender Abschätzung: Bei den gegebenen Musikhörgewohnheiten würden schon nach 10 Jahren ca. 10% bis 20% der Jugendlichen einen zwar leichten, aber doch nachweisbaren Hörverlust von 10 und mehr Dezibel bei 3 kHz davontragen [Ising H. *et al.*, 1995a; Ising H. und Kruppa B., 1996; Zenner H.P. *et al.*, 1999]. Das wäre eine unter „public health“-Gesichtspunkten nicht zu vernachlässigende Größenordnung. Selbst wenn die Schäden sich in jungen Jahren im Alltag noch nicht unmittelbar bemerkbar machen, so darf das nicht darüber hinwegtäuschen, dass jede Zilienschädigung das Innenohr für spätere Schallüberlastung leichter verletzlich macht. Das heißt, bei fortgesetzter hoher Schallbelastung - z. B. im Berufsleben - entsteht im Fall einer solchen Vorschädigung eine lärmbedingte Innenohrschwerhörigkeit in verkürzter Zeitdauer [Dancer A., 2000; Ising H. und Kruppa B., 1996].

I. 5.2 Empirische Befunde

Bisher bewegten sich die Betrachtungen auf der Ebene theoretischer Abschätzungen unter Zugrundelegen von empirisch ermittelten Expositionsdaten. Lässt sich der vermutete Zusammenhang (hohe Musikexposition - schlechteres Hörvermögen) nun auch empirisch nachweisen? **Abb. 16** gibt die Ergebnisse zweier eigener Untersuchungen an jeweils ca. 1500 jugendlichen Berufsbewerbern bei der BASF-AG in Ludwigshafen und der Berliner Polizei wieder [Babisch W. und Ising H., 1989; Ising H. *et al.*, 1988]. Die Personen wurden audiometriert und nach ihrem üblichen Diskothek-Besuchsverhalten befragt. Diejenigen 16- bis 20jährigen, die im Hörtest auffällig waren, das heißt, einen potentiell lärmbedingten Innenohrhörverlust von mindestens 30 dB bei einer Testfrequenz im Bereich von 3- bis 6 kHz hatten, gingen im Mittel etwa 1½ mal so oft in Diskotheken wie die entsprechend Unauffälligen. Der absolute Unterschied in der Prävalenz von Hörstörungen zwischen den beiden Erhebungsgebieten kann an Vorschäden durch andere Lärmexpositionen in den beiden auch soziologisch unterschiedlichen Regionen liegen, aber auch an methodischen Unterschieden bei der Audiometrie. Entscheidend für die Betrachtung sind hier die relativen Vergleiche.

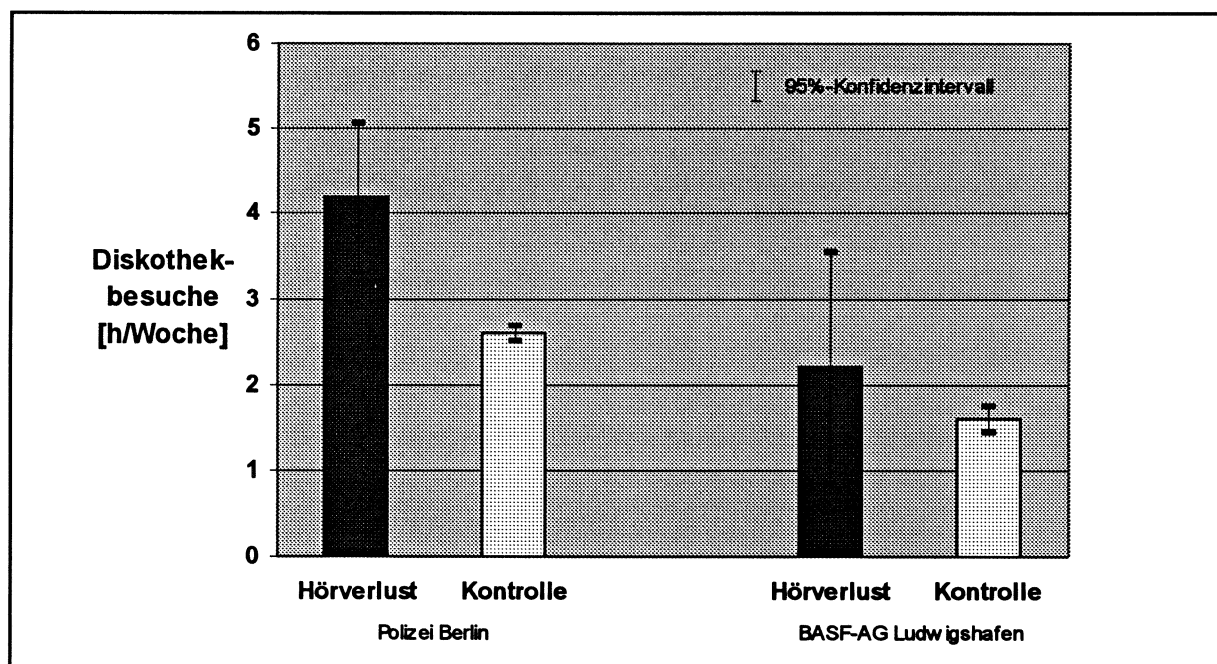


Abb. 15: Zusammenhang zwischen lärmbedingtem Hörverlust >30 dB bei 3-6 kHz und der Häufigkeit von Diskothekbesuchen

Ähnliches ergab eine Untersuchung an ca. 200 Oberschülern im Alter von 13- bis 19 Jahren [Babisch W. *et al.*, 1988]. Schüler, die mindestens 1mal pro Woche eine Diskothek besuchten, hatten im Mittel eine um 4 dB schlechtere Hörschwelle bei 4 kHz als diejenigen, die im Interview nur einen Besuch pro Monat angaben. Dies ist in **Abb. 17** dargestellt. Die Befunde bei den mittleren Hörschwellen liegen quantitativ im Rahmen der Abschätzung, berücksichtigt man, dass die Untersuchungspersonen ihre Musikhörgewohnheiten noch keine 10 Jahre ausgeübt hatten und die tatsächlichen Musikschaallpegel unbekannt waren. Es bestand zudem ein kumulativer Effekt derart, dass Schüler, die sowohl durch Diskothekbesuche als auch häusliches Musikhören stark exponiert waren, eine stärkere Hörminderung aufwiesen als diejenigen mit nur einer Art der Musikbelastung. Dies kann im Hinblick auf die Kausalität der Befunde interpretiert werden [Babisch W. und Ising H., 1989].

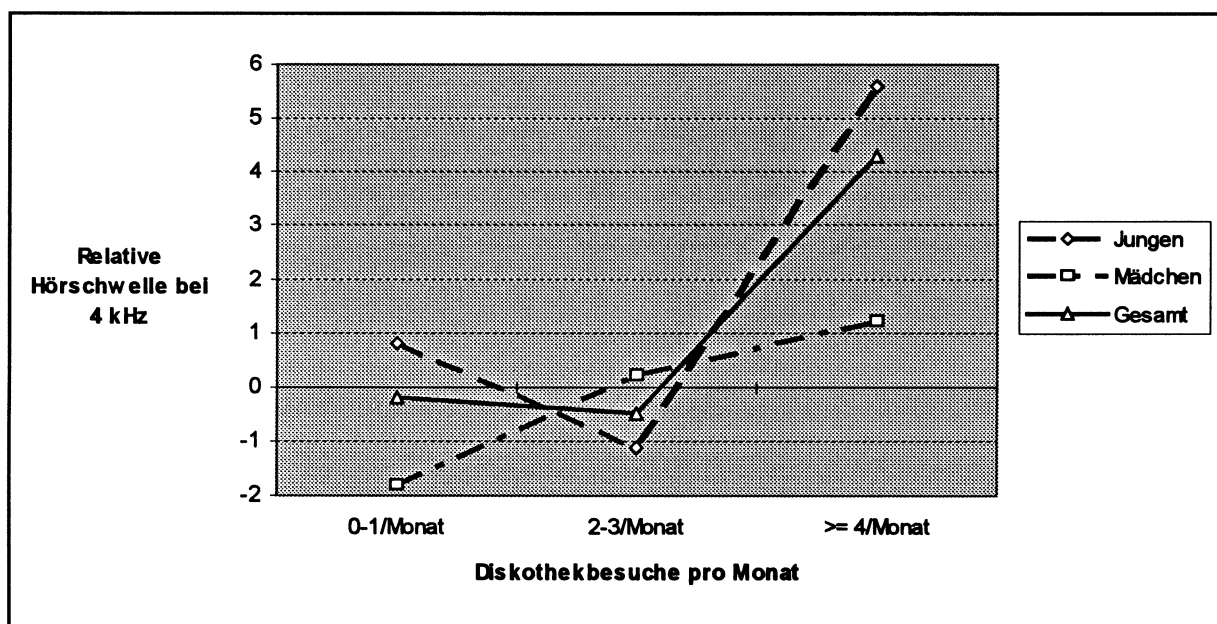


Abb. 17: Relative Hörschwelle (4 kHz) in Abhängigkeit von der Diskothekbesuchshäufigkeit

In epidemiologischen Studien, in denen Zusammenhänge zwischen dem Hörvermögen und der Musikexposition untersucht wurden, stammen die Angaben zur Musikexposition üblicherweise aus Fragebögen zu den Besuchsgewohnheiten der Jugendlichen von Diskotheken und ähnlichen Veranstaltungsorten mit elektroakustisch verstärkter Musik.

Tab. 1 gibt eine Übersicht über Lärmeffekte, die in Studien beobachtet wurden, in denen mittlere Hörschwellendifferenzen zwischen unterschiedlich Musiklärm-Belasteten ausgewertet wurden [Babisch W. und Ising H., 1989; Carter N. *et al.*, 1984; Carter N. L. *et al.*, 1982; Fearn R. W., 1981a; Fearn R. W. und Hanson D. R., 1984; Hoffmann E., 1997; Irion H. *et al.*, 1983; Lindemann H. E. *et al.*, 1987; Meyer-Bisch C., 1996; Mori T., 1985; Rudloff F. *et al.*, 1996; Taylor C. F., 1976; West P. D. B. und Evans E. F., 1990]. Die Expositionszuordnung erfolgte in den Studien nach unterschiedlichen Gesichtspunkten. In den frühen Untersuchungen wurde zwischen Diskothekengängern und Nicht-Diskothekengängern unterschieden. In anderen Studien wurde ein Kriterium zur Trennung der Gruppen benutzt - starke vs. geringe Musikbelastung -, wobei mitunter statistische Verteilungsmerkmale zur Festlegung des Kriteriums verwandt wurden (Perzentile). Günstig ist es, wenn monoton ansteigende Expositions-kategorien (z. B. der Besuchshäufigkeit) zur Beurteilung von möglichen Zusammenhängen verwandt werden, um dosisbezogene Lärmeffekte zu erkennen. Ohne auf die Einzelheiten der Studien hier näher einzugehen, zeigt sich, dass die Größe der beobachteten Hörschwellendifferenzen zwischen den Belastungsgruppen - unabhängig von Signifikanzgesichtspunkten - nur im Bereich weniger dB im Mittel liegen. (In einigen Studien, bei denen keine signifikanten Befunde festgestellt wurden, finden sich keine quantitativen Angaben.)

Tab. 1: Studien zu mittleren Hörschwellen bei unterschiedlich mit Musikschall belasteten Diskothekenbesuchern

Studie	N	Musik-Quelle	Alter [Jahre]	Frequenz [kHz]	Mittlerer Hörschwellen- unterschied [dB]
[Taylor C. F., 1976]	69	HiFi+Diskothek	Berufsanfänger	6	6.3
[Fearn R. W., 1981a]	666	Diskothek+Konzert	9 - 25	3 - 6	1.5 bis 3.3
[Carter N. L. <i>et al.</i> , 1982]	656	Diskothek+Konzert	16 - 20	6	4.0
[Irion H. <i>et al.</i> , 1983]	77	HiFi+Diskothek	Berufsanfänger	6	3.0
[Fearn R. W. und Hanson D. R., 1984]	246	Diskothek+Konzert	18 - 25	3 - 6	1.3 bis 1.6
[Carter N. <i>et al.</i> , 1984]	141	Diskothek+Konzert	16 - 20	3, 4, 6	Δ -1.7 bis 1.7
[Mori T., 1985]	175	HiFi+Diskothek	20 - 29	4, 6	5.0, 9.0
[Lindemann H. E. <i>et al.</i> , 1987]	163	Diskothek+Konzert	22 - 26	3, 4, 6	Δ keine Angabe
[Babisch W. und Ising H., 1989]	204	Diskothek+Konzert	13 - 19	4	4.0
[West P. D. B. und Evans E. F., 1990]	97	HiFi+Diskothek+Konzert	15 - 23	4, 6	0.5 bis 2.9
[Meyer-Bisch C., 1996]	422	Diskothek	14 - 40	3-6, 12-16	0.3, 3.0
[Meyer-Bisch C., 1996]	338	Konzert	14 - 40	3-6, 12-16	0.7, 5.0
[Rudloff F. <i>et al.</i> , 1996]	227	Musikkonsum	14 - 18		keine Angabe
[Hoffmann E., 1997]	424	Diskothek	19 - 21	6 - 16	0.8 bis 1.8

Anmerkung: Einige Quellen geben „keine Angabe“ über die Größe der beobachteten Effekte, wenn statistische Zusammenhangstests keine signifikanten Ergebnisse lieferten. Andererseits ist implizit nicht abzuleiten, dass signifikante Befunde vorlagen, wenn in der Tabelle quantitative Angaben gemacht sind.

Δ = Hörschwellenänderung (Längsschnittstudie)

Sind solche kleinen Änderungen bedeutsam oder nicht? Mittelwertsdifferenzen repräsentieren Verteilungsverschiebungen und korrespondieren grundsätzlich mit Anteilen von Betroffenen, die Befunde oberhalb eines (frei gesetzten) Kriteriumswertes aufweisen. Dies ist in **Abb. 18** anhand von Summenhäufigkeitsverteilungen für den zu erwartenden Hörverlust nach ISO 1999 bei der Testfrequenz 4 kHz für verschiedene Expositionspegel grafisch dargestellt [Babisch W., 2000]. Aus den Summenhäufigkeitskurven lässt sich ablesen, dass eine Verschiebung der Kurven um ca. 5 dB mit einer Änderung des Anteils von auffälligen Befunden im Sinne der Überschreitung eines Hörverlustkriteriums (z. B. > 20 dB bei 4 kHz) um ca. $\frac{1}{2}$ -1 Dezil (10%-Perzentil) der Summenhäufigkeitsverteilung verbunden ist. In relativen Risiken (RR) ausgedrückt heißt das, dass bezüglich eines Hörschwellenkriteriums Lärmeffekte in der Größe von ca. $RR = 1.5-2.0$ zwischen häufigen und seltenen Diskothekenbesuchern für eine entsprechende Auffälligkeit zu erwarten wären (z. B. Prävalenz-Verhältnisse von 30%/20%, 20%/12% bzw. 10%/5%).

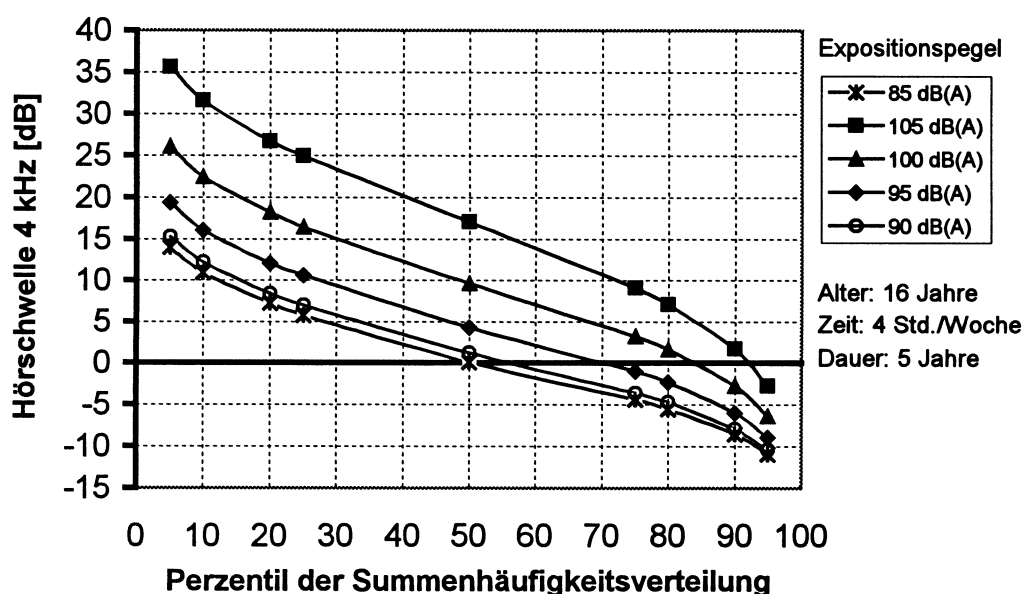


Abb. 18: Hörschwellenverteilungen nach unterschiedlicher Lärmbelastung entsprechend der Abschätzung nach ISO 1999

Tab. 2 zeigt die Ergebnisse von Studien zum Zusammenhang zwischen Indikatoren der Musikexposition in Diskotheken/Konzerten und der Hörfähigkeit, in denen Verhältnisse von Über-

schreitungen eines Hörverlustkriteriums - zumeist >20 dB - ausgewertet wurden [Axelsson A. und Lindgren F., 1981; Fearn R. W., 1981b; Fearn R. W., 1989a; Fearn R. W. und Hanson D. R., 1984; Ising H. und Babisch W., 1998; Lees R. E. M. *et al.*, 1985; Mercier V. *et al.*, 1998; Mori T., 1985; Panter C. H., 1987; Struwe F. *et al.*, 1996]. Wiederum soll auf Details hier nicht weiter eingegangen werden. Entscheidend ist, dass die beobachteten relativen Risiken entsprechend der vorangegangenen Betrachtung mit den Studienergebnissen zu mittleren Hörschwellenunterschieden in der erwarteten Größe korrespondieren. In den neueren Untersuchungen liegen die relativen Risiken unter 2.0. In einer Studie an Rekruten wurde ein relatives Risiko von $RR=1.3$ gefunden, das sich auf wenigstens 1 Diskobesuch/Woche im Vergleich zu seltenen Diskothekengängern bezieht und statistisch signifikant ist [Struwe F. *et al.*, 1996].

Tab. 2: Studien zu auffälligen Hörschwellen bei unterschiedlich mit Musikschoall belasteten Diskothekenbesuchern

Studie	N	Musik-Quelle	Alter [Jahre]	Frequenz [kHz]	Hörverlust [dB]	Relatives Risiko
[Axelsson A. und Lindgren F., 1981]	538	Diskothek+Konzert	17 - 20		> 20 dB	keine Angabe
[Fearn R. W., 1981b]	153	Diskothek+Konzert	9 - 25	3 - 6	> Δ 5	3.1
[Fearn R. W. und Hanson D. R., 1984]	246	Diskothek+Konzert	18 - 25	6	> 10 dB	1.4 bis 2.5
[Mori T., 1985]	175	HiFi+Diskothek	20 - 29	4, 6	> 20	4.7, 1.9
[Lees R. E. M. <i>et al.</i> , 1985]	60	Konzert	16-25	3 - 6	> 10	2.0
[Panter C. H., 1987]	339	Konzert	< 25	6	> 15	1.4
[Fearn R. W., 1989a]	1455	Diskothek+Konzert	11 - 25	3, 4, 6	> 10 (15)	1.3, 1.4, 1.2
[Struwe F. <i>et al.</i> , 1996]	1811	Diskothek+Konzert	16 - 24	3 - 6	> 20	1.3
[Ising H. und Babisch W., 1998]	422	Diskothek	16 - 24	3 - 6	> 20	1.4
[Mercier V. <i>et al.</i> , 1998]	319	Diskothek+Walkman	15 - 26	3 - 6	> 15	1.6

Anmerkung: Einige Quellen geben „keine Angabe“ über die Größe der beobachteten Effekte, wenn statistische Zusammenhangstests keine signifikanten Ergebnisse lieferten. Andererseits ist implizit nicht abzuleiten, dass signifikante Befunde vorlagen, wenn in der Tabelle quantitative Angaben gemacht sind.

Δ = Hörschwellenänderung (Längsschnittstudie)

I. 5.3 Problemdiskussion

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die in Feldstudien beobachteten Lärmeffekte in epidemiologischen Studien geringer ausfielen, als dies nach dem Standard ISO 1999 zu erwarten gewesen wäre. Sofern in den Studien Zusammenhänge zwischen Indikatoren der Musikexposition in Diskotheken, Konzerten und ähnlichen Musikveranstaltungen und der Hörfähigkeit aufgezeigt wurden, lagen sie in der Größe von ca. 2-5 dB für den mittleren Hörschwellenunterschied zwischen stark und wenig Musik-Exponierten bei Testfrequenzen im Bereich der c5-Senke (3-6 kHz). In relativen Risiken ausgedrückt bewegten sich die beobachteten Prävalenzverhältnisse in den epidemiologischen Studien zwischen ca. 1.3 und 2.0 für die nach bestimmten Kriterien definierte audiometrische Testauffälligkeit. Lärmeffekte waren in den Studien nur dann nachweisbar, wenn die Vergleichsgruppen einen möglichst großen Unterschied in ihrer Musikexposition aufwiesen [Ising H. und Babisch W., 2000], d. h., insbesondere die Bezugsgruppe sehr gering exponiert war.

Die Untersuchungen zu den Besuchsgewohnheiten von Jugendlichen zeigen, dass ca. 10% von ihnen hinsichtlich des Gehörschadensrisikos durch laute Musik in Diskotheken als Risikogruppe zu betrachten sind. Grundsätzlich ist jedoch zu beachten, dass aufgrund vielfältiger Musikexpositionen, z. B. durch zusätzliche Kopfhörerbeschallung, der Anteil von Personen „at risk“ höher sein dürfte [Babisch W. und Ising H., 1989; Ising H. *et al.*, 1997; Mori T., 1985; Neyen S., 1997]. Setzt man bei Unter-20jährigen aufgrund empirischer Erfahrungen den Anteil mit einer Hochtonsenke (c5-Senke) von ≥ 20 dB mit überschlägig etwa 10-20 % an (vgl. [Hoffmann E., 1997]), so bedeutet das, dass bei ca. 1-2 % der mit entsprechenden Screening-Methoden Untersuchten in einem Zufallskollektiv musikbedingte Lärmeffekte zu finden wären. Dies ist bei der Studienplanung und Stichprobenziehung im Hinblick auf die statistische Teststärke („power“), d. h., die Möglichkeit, anhand statistischer Entscheidungskriterien einen Zusammenhang überhaupt nachweisen zu können, zu berücksichtigen.

Anhand der Daten einer Längsschnittstudie sei dies verdeutlicht [Lindemann H. E. *et al.*, 1987]. 163 Jugendliche wurden im Abstand von 6 Jahren audiometriert. Im Gruppenmittel verschlechterte sich die Hörschwelle bei 4 kHz in der Zeit um ca. 1.4 dB. Es wurde kein signifikanter Zusammenhang mit der Musikbelastung gefunden. Der Anteil von Diskothek- oder Pop-Konzertbesuchern wurde mit ca. 60 % angegeben. Angenommen, ein Zehntel davon - also

10 Personen - war hinreichend exponiert (Wochen-Mittelungspegel 90 dB(A)) und würde in den Expositionsjahren einen mittleren Hörverlust von ca. 9 dB entwickeln (vgl. Abb. 10), so würde der mittlere Hörverlust bei den 100 potenziell Lärmexponierten knapp 1 dB betragen. Es ist leicht nachvollziehbar, dass angesichts der großen Streubreite individueller Hörschwellen [Lutman M. E. und Davis A. C., 1994] mit dem gewählten Studiendesign kaum eine Chance für den statistisch gesicherten Nachweis eines Zusammenhangs bestand. Dies wäre um so aussichtsloser, wenn Prävalenzverhältnisse von Überschreitungen eines Hörschwellenkriteriums betrachtet worden wären. Dennoch hätte der Befund als solcher möglicherweise gesundheitspolitische Relevanz.

Das Hauptproblem epidemiologischer Studien über die Wirkungen lauter Musikbeschallung besteht darin, dass eine genaue Expositionserhebung aufgrund von sich verändernden Verhaltensweisen des Einzelnen praktisch kaum möglich ist. Es ist von sehr großen intraindividuellen Variationen auszugehen, was die besuchten Orte, Besuchshäufigkeiten und Verweilzeiten an den Orten anbelangt. Zudem sind die tatsächlichen Musikpegel in den besuchten Diskotheken, Clubs, Konzerten u. ä. zumeist unbekannt oder nur mit sehr großem Aufwand in einer Studie zu ermitteln. Entsprechend unsicher sind die Angaben zur Lebensexpositionszeit. In den vorliegenden Studien wurde zumeist das gegenwärtige Besuchsverhalten abgefragt und mit Angaben darüber, seit wie vielen Jahren Diskotheken überhaupt besucht werden oder das gegenwärtige Besuchsverhalten ausgeübt wird, gewichtet. Die einzelnen Expositionsparameter müssten jedoch retrospektiv altersspezifisch abgefragt werden. Andere gehörschädigende Lärmexpositionen sind in einem solchen Studienkonzept als potenzielle Störfaktoren zu betrachten, die die Ergebnisse in unbekannter Richtung beeinflussen können.

Ein methodisches Problem kann entstehen, wenn audiometrische Messergebnisse sehr heterogener Probandenkollektive oder aus unterschiedlichen Erhebungsgebieten stammende Daten gemeinsam ausgewertet werden. Es ist bei den verwendeten Expositionsindikatoren nicht zu unterscheiden, ob eine Person stärker lärmbelastet ist, die häufig eine gemäßigt laute Diskothek besucht, oder eine andere Person, die seltener eine sehr laute Diskothek besucht. Je homogener und örtlich begrenzter eine Stichprobe gewählt wird (z. B. Schüler nur einer Schule), desto eher ist aufgrund von gruppendynamischen Verhaltensweisen davon auszugehen, dass zumindest eine annähernd graduelle Expositionseinstufung auf der Grundlage von häufigen bzw. seltenen Besuchen der verschiedenen Personen gegeben ist (unabhängig davon, wie laut es in

der/den „angesagten“ Diskothek/en des Einzugsgebiets tatsächlich ist, die von den Befragten wahrscheinlich besucht wird/werden).

I. 5.4 Tinnitus (Ohrgeräusche)

Unter Tinnitus werden Ohrgeräusche verstanden, die als Ton oder Rauschen wahrgenommen werden. Es ist zu beobachten, dass die Inzidenz von durch Musik ausgelöstem temporären Tinnitus über die Jahre hinweg eine ansteigende Tendenz zeigt [Axelsson A. und Prasher D., 2000]. Eigenen Untersuchungen zufolge gingen Personen, die angaben, dass bei ihnen nach starker Schallbelastung länger anhaltende Ohrgeräusche auftraten, häufiger in Diskotheken und Konzerte als Vergleichspersonen [Ising H. *et al.*, 1988], wobei ein positiver Zusammenhang zwischen potenziell lärmbedingten Hörverlusten und der Tinnitus-Prävalenz zu verzeichnen war (relatives Risiko $RR = 2.9$). Ähnliches ergab eine Untersuchung an ca. 200 Oberschülern im Alter von 13- bis 19 Jahren [Babisch W. *et al.*, 1988]. Mit zunehmender Diskothekbesuchshäufigkeit stieg der Anteil von Schülern mit vorübergehenden Tinnitus-Symptomen nach lauter Musik an. Dies ist in **Abb. 18** dargestellt.

Ca. 1-5 % der Jugendlichen klagen über dauerhafte Ohrgeräusche [Becher S. *et al.*, 1996; Mühleib F., 1986; Stange G., 1992]. Sowohl spontaner Tinnitus als auch erst nach der Schallexposition einsetzender Tinnitus ("post exposure tinnitus") hielten bei Besuchern von Clubs und Diskotheken länger an als bei Nicht-Besuchern [Meecham E. A. und Hume K. I., 1998]. Zwischen 30% und 70% der Jugendlichen geben bei Befragungen an, nach Musikkonsum in Diskotheken oder Rock/Pop-Konzerten vorübergehend Ohrgeräusche zu haben [Bradley R. *et al.*, 1987; Jokitulppo J. S. *et al.*, 1997; Mercier V. *et al.*, 1998; Merluzzi F. *et al.*, 1997; Meyer-Bisch C., 1996; Neyen S., 1999; Schuschke G. *et al.*, 1994; Smith P. A. *et al.*, 2000]. Bezüglich Konzertveranstaltungen ergeben sich zumeist höhere Prävalenzen als bei Diskotheken. In einer Untersuchung wurde die höchste Prävalenz von temporärem Tinnitus im Vergleich zu der durch Besuch von Diskotheken und Konzerten bezüglich der Walkman®-Exposition ermittelt (68%) [Hoffmann E., 1997].

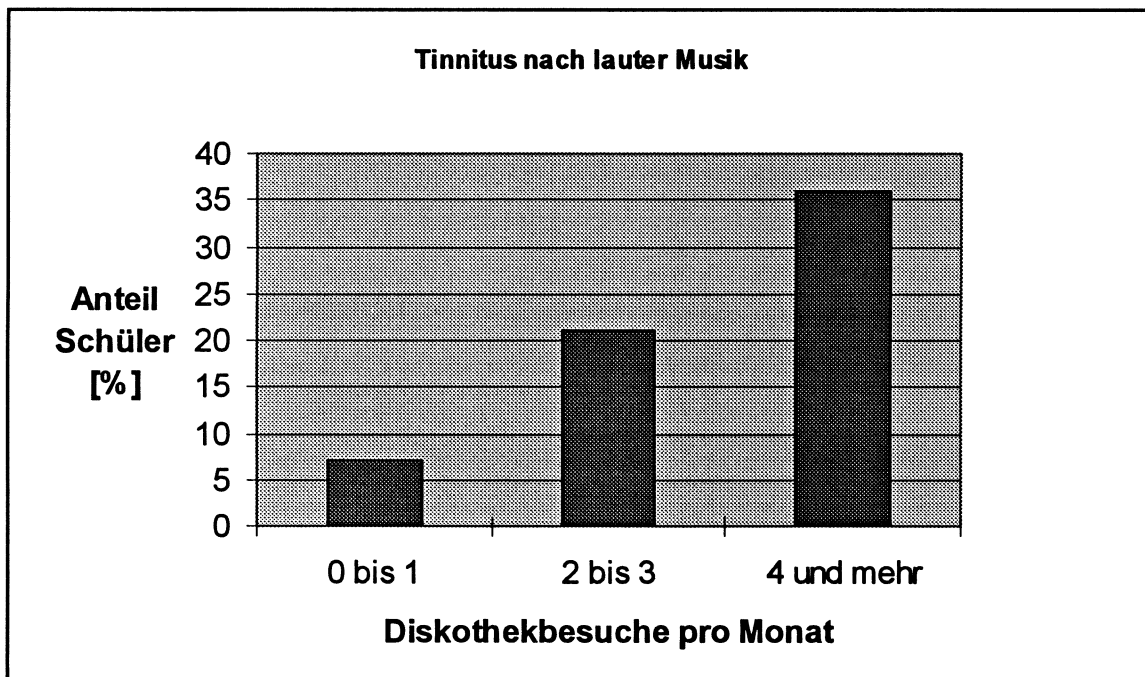


Abb. 19: Prävalenz von temporären Tinnitus-Symptomen nach Musik in Abhängigkeit von der Diskothekbesuchshäufigkeit

Ohrgeräusche der beschriebenen Art sind ein ernst zu nehmender Indikator für eine akustische Überlastung des Innenohres. Zwar ist Tinnitus wegen seiner vielfältigen Ursachen und Symptomatik kein zwangsläufig vorhandenes Symptom von Lärmschwerhörigkeit [Ceranik B. J. *et al.*, 1997; Opitz H. J., 1984; Schönweiler R., 1986], kann aber damit verbunden sein [Hellbrück J. und Schick A., 1989; Plath P., 2000]. Das Auftreten von Ohrgeräuschen nach hoher Schallexposition wird daher als Indikator für eine mögliche Überlastung des Gehörs mit Schallpegeln gehörschädigenden Ausmaßes angesehen [Consensus Development Panel, 1990; Davis A.C. *et al.*, 1998]. Tinnitus ist somit ein Warnsignal, das beachtet werden sollte [Hoffmann E., 1997; Medical Research Council Institute of Hearing Research, 1986]. Tinnitus kann nicht nur lästig sein, sondern verschlechtert infolge von Maskierung (Verdeckung) natürlich auch das Hörvermögen [Levi H. und Chisin R., 1987]. Es wurde darauf hingewiesen, dass es für einen jungen Menschen eine sehr viel stärkere Beeinträchtigung der Lebensqualität sein kann, unter Tinnitus zu leiden als einen leichten Hochtonhörverlust zu haben [Axelsson A. und Prasher D., 2000].

I. 5.5 Bewertung

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass die Musikhörgewohnheiten von Jugendlichen das Risiko eines lärmbedingten Gehörschadens in sich tragen. Der Grad an Expositions-Missklassifikation in den vorliegenden Untersuchungen ist sehr groß, was bei zufällig verteilten Einflussfaktoren eine „Verdünnung“ der statistischen Effekte bewirkt und den Nachweis möglicher Zusammenhänge erschwert. Die Lärmeffekte dürften in den empirischen Untersuchungen daher eher unterschätzt als überschätzt werden. Angesichts dessen kann die grundsätzliche Frage gestellt werden, ob es überhaupt des Nachweises von Lärmeffekten in empirischen Untersuchungen bedarf, um gehörverträgliche Schallpegel in Diskotheken, Clubs, Konzerten und ähnlichen Veranstaltungsorten zu fordern. Die Abschätzung auf der Grundlage der ISO 1999 und die arbeitsschutzrechtlichen Bestimmungen zum Schutz vor Gehörschäden durch Lärm können eine hinreichende Grundlage für präventives Handeln sein. Längsschnittstudien, d. h., das regelmäßige Audiometrieren Jugendlicher über einen längeren Zeitraum hinweg („Tracking“) und das parallele Erfassen von individuellen Lärmexpositionen, stellen ein geeignetes Konzept für zukünftige Wirkungsstudien dar, mit dem die Musikschall-Problematik sachgerecht untersucht werden kann [Serra M. R. *et al.*, 2000].

Gesundheitliche Gefahren durch Musikschall sind im wesentlichen bei Personen mit extremen Musikhörgewohnheiten gegeben, d. h., bei Hörern, die sich sowohl im Hinblick auf die Lautstärke als auch die Dauer stark exponieren [Fearn R. W. und Hanson D. R., 1984]. Der Anteil derartig (musik-)lärmexponierter Jugendlicher liegt wohl bei 5-10 % [Schuschke G. *et al.*, 1994; Smith P. A. *et al.*, 2000; Zenner H.-P., 1999]. Personen mit Mehrfachbelastung, also z. B. durch häufige Diskothek-Besuche und häufiges (lautes) Musikhören zuhause oder unterwegs - z. B. über Walkman® - stellen eine besonders gefährdete Personengruppe dar [Schuschke G. *et al.*, 1994; Zenner H.P. *et al.*, 1999]. Studien haben gezeigt, dass das Gehörschadensrisiko bei dermaßen mehrfach Exponierten erheblich höher ist [Babisch W. und Ising H., 1989; Ising H. *et al.*, 1997; Neyen S., 1997]. Weitere Lärmbelastungen am Arbeitsplatz oder durch andere Freizeitaktivitäten [Axelsson A., 1996a; Brookhouser P. E. *et al.*, 1992; Gupta D. und Vishwakarma S.K., 1989; Hoffmann E., 1997; Schuschke G., 1998; Smith P. A. *et al.*, 2000; Smoorenburg G. F., 1993; Zenner H.P. *et al.*, 1999] sowie Vorschäden, die vielleicht schon im Kindesalter gesetzt wurden [Axelsson A., 1996b; Axelsson A. und Jerson T., 1985; Fleischer G. *et al.*, 1998], erhöhen darüber hinaus das Gehörschadensrisiko. So hatten

arbeitslärmbelastete Personen, die in ihrer Freizeit viel Musik hörten, gegenüber entsprechend unbelasteten Personen ein schlechteres Hörvermögen - wahrscheinlich auch deshalb, weil die Gehörerholung von der Exposition gegenüber dem sehr viel stärkeren Arbeitslärm, dem beide Gruppen in gleicher Weise unterworfen waren, nicht in ausreichendem Maße stattfand [Mori T., 1985]. In der genannten Untersuchung bestand eine klare Dosis-Wirkungs-Beziehung mit der Musikexposition (Häufigkeit).

In Tierversuchen erwiesen sich längere Lärmpausen (bei gleicher kumulierter Schallintensität) als protektiv hinsichtlich der Entwicklung eines bleibenden Hörverlusts [Bohne B. A. *et al.*, 1987]. Auf die Notwendigkeit einer hinreichend langen Zeit zur Gehörerholung wurde hingewiesen [Borchgrevink H.M. und Woxen O.J., 1998; Dieroff H.-G., 1994a]. Dass dies bei typischen Aktivitätsprofilen Jugendlicher häufig nicht erfüllt ist, zeigen entsprechende Abschätzungen [Axelsson A. *et al.*, 1981b; Jokitalppo J. S. *et al.*, 1997] und dosimetrische Messungen [Roche A. F. *et al.*, 1983]. In Experimenten war die Vertäubung (TTS) bei intermittierender Musik gegenüber einem Dauergeräusch gleichen Mittelungspegels etwas geringer [Rintelmann W. F. *et al.*, 1971].

Nach Meinung von Lärmwirkungsexperten ist zu befürchten, dass ca. 10% der Jugendlichen aufgrund ihrer Hörgewohnheiten in jungen Jahren eine messbare Hörminderung erfahren werden [Ising H. und Kruppa B., 1995; Ising H. und Kruppa B., 1996; Zenner H.-P., 1999]. Neben Initiativen zur Aufklärung der Bevölkerung und der beteiligten Kreise ist in diesem Zusammenhang auch über restriktive Maßnahmen zur Begrenzung von Musikschaallpegeln nachzudenken [Kerscher G., 1996]. Das Bundesgesundheitsamt [Bundesgesundheitsamt, 1991], das Umweltbundesamt [Ising H., 1996; Kommission "Soziakusis (Zivilisations-Gehörschäden)" des Umweltbundesamtes, 1995a, 1995b, 1997, 2000; Umweltbundesamt, 1995, 1997] und die Bundesärztekammer [Wissenschaftlicher Beirat der Bundesärztekammer, 1999; Zenner H.P. *et al.*, 1999] haben sich schon seit längerem für Musikschaallpegel-Begrenzungen ausgesprochen. Vorgeschlagen sind für Diskotheken u. ä. Werte zwischen 90 und 95 dB(A) für den Mittelungspegel bezogen auf den lautesten Zuhörerbereich, also zumeist die Tanzfläche bzw. die nächsten Sitz- oder Stehplätze hinter der Bühnenabspernung - dies in Anlehnung an eine schon länger existierende und bei den Verantwortlichen offensichtlich wenig bekannte DIN-Norm [DIN 15905 Teil 5, 1989; Ising H., 1994; Kommission "Soziakusis (Zivilisations-Gehörschäden)" des Umweltbundesamtes, 1995a]. Die letzte Verlautbarung der UBA-

Kommission ist im Anhang dieses Berichts wiedergegeben [Kommission "Soziakusis (Zivilisations-Gehörschäden)" des Umweltbundesamtes, 2000].

Andere Länder sind in dieser Hinsicht bereits tätig geworden. In der Schweiz gibt es einen Diskothekenerlass, wonach in Diskotheken, Konzertsälen, Kinos und im Freien bei elektronisch erzeugter und verstärkter Musik der über 60 Minuten gemittelte äquivalente Dauerschallpegel 93 dB(A) nicht übersteigen darf [Der Schweizerische Bundesrat, 1996]. Bezugspunkt ist der lauteste Publikumsbereich. Sollte dies zu einer unverhältnismäßigen Einschränkung der Veranstaltung führen, so können nach dem Erlass im Sinne einer Ausnahmeregelung in Einzelfällen auch maximale Dauerschallpegel von 100 dB(A) zugelassen werden (Momentanpegel maximal 125 dB(A)), wobei dem Publikum vom Veranstalter jedoch Gehörschutz angeboten und in angemessener Weise auf mögliche Schädigungen des Gehörs aufmerksam gemacht werden muss. In Schweden gibt es eine allgemeine Empfehlung, die als behördliche Eingreifschwelle betrachtet wird, wonach der Beurteilungspegel in Diskotheken 100 dB(A) und der maximale Schallpegel („SPL, fast“) 115 dB(A) nicht überschreiten soll [The National Board of Health and Welfare's Code of Statutes, 1996].

Einen Handlungsschwerpunkt zur Prävention stellt die verstärkte Aufklärung der Musik-Konsumenten, Diskjockeys und Beschallungstechniker über die Gesundheitsgefahren übermäßigen Musikkonsums dar, die besser und nachdrücklicher betrieben werden muss [Kerscher G., 1996; Kommission "Soziakusis (Zivilisations-Gehörschäden)" des Umweltbundesamtes, 2000; Prasher D., 1999]. Diskjockeys und Beschallungstechniker werden als Schlüsselpersonen in dem Geschehen angesehen [Axelsson A., 1996a]. Den Konsumenten muss vermittelt werden, dass eine Hörminderung ganz allmählich voranschreitet und anfangs von den Betroffenen nicht wahrgenommen wird, obwohl bereits irreversible Schäden im Innenohr eingetreten sind. Hierin liegt die große Gefahr der Unterschätzung des Problems. Vergleiche mit dem Rauchen lassen sich ziehen. Auch ton-audiometrisch wird eine Hörminderung erst dann diagnostizierbar, wenn etwa die Hälfte der Haarzellen eines Frequenzbereichs nicht mehr funktionsfähig sind [Plath P., 1994]. In jungen Jahren vorgeschädigte Ohren sind empfindlicher für zukünftige Schallbelastungen, z. B. im Arbeitsleben, da die Schäden akkumulieren. Eine deutlich merkbare Schwerhörigkeit in späteren Lebensjahren wird gegenüber Personen mit wenig vorbelasteten Ohren somit sehr viel früher erreicht [Ising H. und Kruppa B., 1996; Plath P., 1994]. Es ist gerade auch im Interesse der Musikhörenden selbst, sich die Wahrnehmungsfähigkeit des komplexen

Sinnesorgans „Gehör“ in vollem Umfang zu erhalten, um auch in späteren Lebensjahren die Musik mit allen ihren Feinheiten genießen zu können.

In den Schulen kann das lärmhygienische Thema z. B. im fachbezogenen Unterricht (Physik, Biologie) vermittelt werden. Entsprechende Unterrichtsmaterialien dazu wurden erarbeitet [Bloch G. W., 1991; Istas H., 1997; Landsberg-Becher J.-W. *et al.*, 1997; Strahl H.-M. *et al.*, 2000; Wolfbauer R., 1999]. Es geht darum, in für die Betroffenen akzeptabler und ansprechender Weise, die Probleme didaktisch gut aufbereitet anzusprechen und Handlung- und Verhaltensalternativen aufzuzeigen [Hohmann B., 1988b]. Auch wurde vorgeschlagen, Spezialisten mit Fachwissen in Anatomie und Physiologie, die über pädagogisches Geschick verfügen („hearing educators“), in Schulen einzusetzen [Axelsson A., 1996a; Shirreffs J. H., 1974]. Über entsprechend positive Beispiele wurde kürzlich berichtet [Römer L., 2000]. Eine Anzahl erfreulicher Initiativen in dieser Richtung wurden bereits ergriffen [Becher S. *et al.*, 1995; Hohmann B., 1988b; Ising H. *et al.*, 1995b; Ising H. *et al.*, 1995c; Leßwing G. und Hahn F., 1988; Neyen S., 1995; Schulz R. *et al.*, 2000] - weitere Aktivitäten sind notwendig. Der Vorliegende Sachstandsbericht soll einen Beitrag zu der Gesamtdiskussion leisten.

I. 6 Akzeptanz von Musikschnallpegeln

Gehörverträgliche Musikschnallpegel können nur unter Mitwirkung aller betroffenen Gruppen flächendeckend realisiert werden. Dabei wird auch an die Einsicht und freiwillige Kooperation der Besitzer und Betreiber entsprechender Veranstaltungsorte und Anlagen appelliert. Die genaue Kenntnis über die Wünsche und Einschätzungen der Lautstärke seitens der Besucher von Musikveranstaltungen dürften für die Musikveranstalter unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten dabei von großem Interesse sein. In einem Berliner Stadtmagazin ist kürzlich die Lautstärke (Kategorien: „Unterhaltung sehr gut möglich“ bis „Gebärdensprache nötig“) in die Beschreibung der Nachtclubs als ein Qualitätskriterium mit aufgenommen worden [Tip, 2000].

Zur Akzeptanz der Musiklautstärke durch die Besucher liegen einige Untersuchungsergebnisse vor: So beurteilten College-Studenten die Musik bei Live-Musikveranstaltungen in den von ihnen besuchten Clubs überwiegend als zu laut [Voorhees R. L., 1970]. 68% der Befragten gaben ein entsprechendes Urteil ab; nur 1% empfanden die Musik als zu leise. Im Rahmen einer Untersuchung der Initiative „Jugend Forscht“ wurden in einer Projektarbeit Diskothekbesucher befragt [Perlitz T. *et al.*, 1984] (zitiert bei [Babisch W. und Ising H., 1989]). Danach stuften etwa die Hälfte der befragten über 16jährigen Jugendlichen die Musik in den von ihnen besuchten Diskotheken als zu laut ein.

In einer neueren Untersuchung ergab sich auf der Basis von 538 Fragebögen bei 13-18jährigen Schülern eines Querschnitts Berliner Schulen, dass 48% - also knapp die Hälfte - es in den von ihnen besuchten Diskotheken im allgemeinen als zu laut empfinden [Neyen S., 1995]. Hervorzuheben ist dabei, dass 92% der Befragten angaben, nichts gegen eine Verringerung der Musiklautstärke in Diskotheken zu haben [Ising H. und Babisch W., 1998].

Über eine entsprechend breite Akzeptanz für Pegelbegrenzungen in Diskotheken wird auch aus der Schweiz berichtet, wo Schallpegelbeschränkungen in Diskotheken gesetzlich vorgeschrieben sind. Erste Untersuchungsergebnisse nach Einführung der gesetzlichen Regelung zur Begrenzung ergaben, dass ca. die Hälfte der Diskothekbesucher die Musikschnallpegel dort immer noch als zu laut einschätzen [Greim H. und Ising H., 2000; Hohmann B., 2000].

Eine Befragung von 700 jungen Männern und Frauen (Alter: 16-25 Jahre) ergab, dass Frauen die Lautstärke bei allen Arten von Musikveranstaltungen grundsätzlich lauter beurteilten als Männer [Mercier V. und Hohmann B. W., 2000]. Insgesamt 51% der angesprochenen Frauen gegenüber 39% der angesprochenen Männer stuften die Musiklautstärke als „zu hoch“ ein. Nach Adjustierung bezüglich des Geschlechts und Ausschluss von Personen, die kein Urteil abgaben, wurden in der Untersuchung die folgenden Beurteilungen über Diskotheken, Rock/Pop-Konzerte und Techno-Partys abgegeben:

Diskotheken: 3% zu leise, 45% gerade richtig, 52% zu laut,

Rock/Pop-Konzerte: 2% zu leise, 42% gerade richtig, 56% zu laut,

Techno-Party 3% zu leise, 25% gerade richtig, 72% zu laut.

Die Autoren kamen zu dem Gesamturteil, dass ca. 60% des Publikums die hohen Schallpegel nicht wünschen und die Veranstalter mit zu hohen Musikschallpegeln einen Teil des Zielpublikums - vor allem Frauen - u. U. vom Besuch der Musikveranstaltungsorte abhalten.

Den hier vorgestellten Untersuchungen ist gemeinsam, dass sie keine konkreten Schallpegelbezüge zulassen. Es wurde nur ganz allgemein nach der Einschätzung der Lautstärke in den besuchten Diskotheken gefragt. Untersuchungen zu schallpegelbegrenzten portablen Kassettenabspielgeräten lassen auch quantitative Aussagen zum Musikschallpegel zu. So zeigte sich in einer Studie zu Musik-Hörschallpegeln eine breite Akzeptanz für Geräte, bei denen das Ausgangssignal auf ca. 94 dB(A) begrenzt wurde. Nur ca. 4% der am Hörexperiment beteiligten 422 Schüler im Alter von 16-24 Jahren aus Schulen in Berlin und Potsdam empfanden die maximal mögliche Lautstärke als zu leise [Ising H. und Babisch W., 1998].

In einer neuen, in den folgenden Berichtsteilen (Teil II und III) näher beschriebenen, Untersuchung wurden auf der Grundlage quantitativer Schallpegelmessungen in einer Diskothek subjektive Urteile derselben Personen zu unterschiedlichen Lautstärken der abgespielten Musik eingeholt [Babisch W. und Bohn B., 2000]. Der Musikschallpegel wurde im Laufe des Abends jeweils für die Dauer von einer ¾-Stunde auf 94 dB(A), 101 dB(A) und 92 dB(A) eingestellt. In der lautesten Beschallungsphase mit einem Mittelungspegel über 100 dB(A) gaben 80% der Besucher (Oberschüler) an, sich nur durch Schreien verständigen zu können bzw., dass dies nicht möglich sei. Bei den gemäßigten Pegeln unter 95 dB(A) gaben hingegen nur 25% bzw. 6% ein solches Urteil ab. 8%, 21% bzw. 40% der Befragten waren mit den jeweiligen Musiklautstärken 94, 101 bzw. 92 dB(A) "nicht" oder "wenig" zufrieden. Bei Mittelungspegeln

knapp über 90 dB(A) scheint demnach die untere Grenze der von den Jugendlichen gewünschten und akzeptierten Lautstärke zu liegen.

Auf die jeweils während der Beschallungsphasen gestellte Frage, ob sie regelmäßig eine Diskothek besuchen würden, in der die Musiklautstärke so ist wie jetzt, antworteten 67%, 55% bzw. 67% der Schüler mit "ja". Das heißt, die laute Beschallung (101 dB(A)) wurde zwar am schlechtesten bewertet, aber nicht nachdrücklich abgelehnt. Das Ergebnis kann jedoch so interpretiert werden, dass die Musiklautstärke wenig Einfluss auf das Besuchsverhalten von Diskotheken an sich hat. Dafür scheinen vielmehr andere Faktoren verantwortlich zu sein, die eher in den Bereichen Jugendkultur, Gruppenverhalten, Partnersuche etc. zu suchen sind. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass eine Lautstärke-Verminderung von Schallpegeln über 100 dB(A) auf gehörverträglichere Werte unter 95 dB(A) aus der Sicht der Diskothekenbetreiber keinen nachteiligen Einfluss auf das durchschnittliche Besuchsverhalten der Diskothekenbesucher hätte.

In einer Diplomarbeit wurden bei 254 Besuchern von 8 Diskotheken, in denen Schallmessungen von den Betreibern erlaubt wurden, Zusammenhänge zwischen den dort gemessenen Schallpegeln und den Besucherurteilen zur Verständigungsmöglichkeit ausgewertet [Kühl J.-T., 1997]. Die gemessenen Mittelungspegel in den Diskotheken variierten zwischen 90 und 105 dB(A) auf der Tanzfläche. Lässt man zwei „Techno“-Diskotheken unberücksichtigt, so ergibt sich der in **Abb. 20** dargestellte Zusammenhang zwischen dem in den Diskotheken gemessenen Mittelungspegel und dem Anteil von in der Diskothek befragten Besuchern, die angaben, dass man „schreien muss, um sich zu verständigen“ oder „eine Verständigung durch Schreien kaum oder nicht möglich ist“ (Bestimmtheitsmaß für den linearen Zusammenhang: $R^2 = 64\%$).

Vergleicht man die Kurve mit den im Teil III des vorliegenden Berichts gewonnenen Daten, so zeigt sich, dass der Zusammenhang zwischen Musikschaallpegel und Verständigungsbeeinträchtigung dort wesentlich „steiler“ ist. Dies ist ebenfalls in **Abb. 20** dargestellt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Lautstärke-Diskriminanzschatzung im intraindividuellen Vergleich (identische Personen innerhalb einer Diskothek) stärker als im interindividuellen Vergleich (verschiedene Personen in unterschiedlichen Diskotheken) ist. Allerdings könnten auch Unterschiede in den Stichprobenzusammensetzungen dabei eine Rolle spielen. Leider wurde

eine im Fragebogen erhobene Frage zur Akzeptanz der Musikscha­llpegel in der zitierten Arbeit nicht ausgewertet.

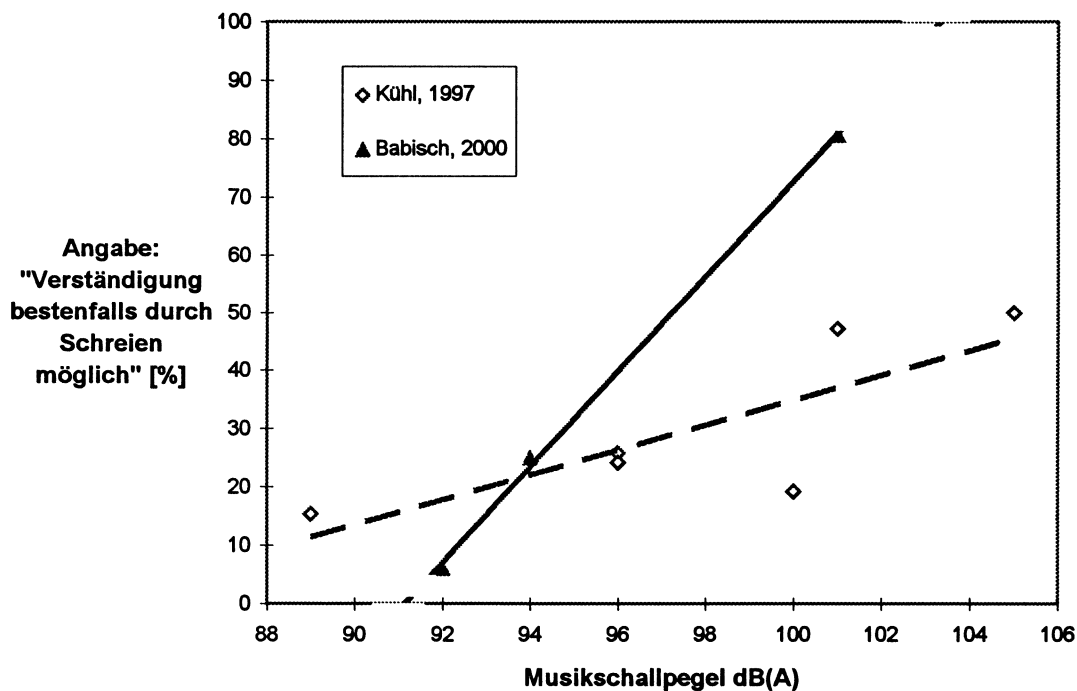


Abb. 20: Anteile von Diskothekbesuchern, die im Interview (in der Diskothek) angaben, dass man sich „nur durch Schreien“ verständigen kann oder dies nicht möglich ist, in Ab­hängigkeit von gemessenen Mittelungspegeln der Musik

Insgesamt ist zur Diskussion um die Akzeptanz von Pegelbegrenzungen anzumerken, dass es sicherlich ein Nischenpublikum gibt, dass extreme Musikscha­llpegel wünscht und von entspre­chend zielgruppenorientierten Anbietern bedient wird. Aufrufe zur Einsicht und freiwilligen Selbstbeschränkung auf gehörverträgliche Musikscha­llpegel werden diese Gruppen wohl kaum erreichen. In solchen Fällen dürften nur regulative Maßnahmen zur Prävention vor Gehörschä­den greifen. Bezeichnend für die Situation ist, dass messtechnische Erhebungen und Publi­kumsbefragungen in 7 von 15 für eine Untersuchung ausgewählten Diskotheken in Berlin von den Betreibern mit der Begründung abgelehnt wurden, man befürchte Meldungen der gemes­senen Scha­llpegel an behördliche Stellen, was zu Unannehmlichkeiten führen könnte [Kühl J.-T., 1997].

Literatur

1. **Axelsson A.** (1996a) Recreational exposure to noise and its effects. *Noise Control Eng. J.* 44, 127-134.
2. **Axelsson A.** (1996b) The risk of sensorineural hearing loss from noisy toys and recreational activities in children and teenagers. In *Protection against noise* (Prasher D. K., Luxon L.M., eds.) Proceedings of the first European Conference, Bari 1996, pp. 57-65. European Commission, Directorate General XII, Brussels.
3. **Axelsson A., Aniansson G., Costa O.** (1987) Hearing loss in school children: a longitudinal study of sensorineural hearing impairment. *Scand. Audiol.* 16, 137-143.
4. **Axelsson A., Jerson T.** (1985) Noisy toys: A possible source of sensorineural hearing loss. *Pediatrics* 76, 574-578.
5. **Axelsson A., Jerson T., Lindberg U., Lindgren F.** (1981a) Early noise-induced hearing loss in teenage boys. *Scand. Audiol.* 10, 91-96.
6. **Axelsson A., Jerson T., Lindgren F.** (1981b) Noisy leisure time activities in teenage boys. *American Industrial Hygiene Association Journal* 42, 229-233.
7. **Axelsson A., Lindgren F.** (1981) Pop music and hearing. *Ear and Hearing* 2, 64-69.
8. **Axelsson A., Prasher D.** (2000) Tinnitus induced by occupational and leisure noise. *Noise & Health* 8, 47-54.
9. **Babisch W.** (1998a) Aurale Lärmschäden bei Kindern und Jugendlichen I. *Der Kinderarzt* 20, 1103-1109.
10. **Babisch W.** (1998b) Aurale Lärmschäden bei Kindern und Jugendlichen II. *Der Kinderarzt* 29, 1243-1246.
11. **Babisch W.** (2000) Gehörschäden durch Musik in Diskotheken. *Zeitschrift für Audiologie Suppl.* III, 159-165.
12. **Babisch W., Bohn B.** (2000) *Schallpegel in Diskotheken und bei Musikveranstaltungen. Teil II: Studie zu den Musikhörgewohnheiten von Oberschülern; Teil III: Studie zur Akzeptanz von Schallpegelbegrenzungen in Diskotheken* WaBoLu-Hefte. Umweltbundesamt, Berlin.
13. **Babisch W., Elke J. U., Goossens C., Gruber J., Ising H., Winter A.** (1985) Beeinflussung der zeitweiligen Hörschwellenverschiebung (TTS) durch psychologische Faktoren. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 32, 2-8.
14. **Babisch W., Ising H.** (1989) Zum Einfluss von Musik in Diskotheken auf die Hörfähigkeit. *Soz. Praeventivmed.* 34, 239-242.
15. **Babisch W., Ising H.** (1994a) Musikhörgewohnheiten bei Jugendlichen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 41, 91-97.
16. **Babisch W., Ising H.** (1994b) Musikhörgewohnheiten von Jugendlichen. *HNO* 42, 466-469.
17. **Babisch W., Ising H., Dziombowski D.** (1988) Einfluß von Diskothekbesuchen und Musikhörgewohnheiten auf die Hörfähigkeit von Jugendlichen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 35, 1-9.
18. **Babisch W., Ising H., Rebentisch E.** (1997) Physikalische Faktoren Teil 1: Lärm. In *Praktische Umweltmedizin - Klinik, Methoden, Arbeitshilfen* (Eis D., Beyer A., eds.) SpringerLoseblattSysteme, Vol. 2: 09.03, pp. 1-33. Springer-Verlag, Heidelberg.
19. **Becher S., Struwe F., Schwenzer C., Weber K.** (1995) Prävention der Hörgefährdung durch Walkman, Vorstellung eines Schulungskonzeptes. *Sozialpäd. u. KiPra.* 17, 230-235.

20. **Becher S., Struwe F., Schwenzer C., Weber K.** (1996) Hörgefährdung durch überlauten Musikkonsum - Vorstellung eines Schulungskonzeptes zur Verhinderung von Hörschaden bei Jugendlichen. *Gesundheitswesen* 51, 91-95.
21. **Beck C.** (1994) Kapitel 4.4.1: Ursachen der Altersschwerhörigkeit. In *Lärmschwerhörigkeit* (Dieroff H.-G., ed.) pp. 190-192. Gustav Fischer Verlag, Jena.
22. **BImSchG (Bundesimmissionsschutzgesetz)** (1990) Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. *Bundesgesetzblatt, Teil 1*, 880, 2643.
23. **Bloch G. W.** (1991) *Lärm und seine Folgen*. Die Waldarbeitsschulen in der Bundesrepublik Deutschland vertreten durch den Ausschuß Waldarbeitsschulen beim Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik, Kiel.
24. **Bohne B. A., Yohman L., Gruner M. M.** (1987) Cochlear damage following interrupted exposure to high-frequency noise. *Hearing Research* 29, 251-264.
25. **Bolin N.** (1992) "Das klingt so herrlich...!?" Zum drogenähnlichen Gebrauch von Musik Manuskript zur Radiosendung am 29.07.1992. Deutschlandfunk, Köln.
26. **Borchgrevink H. M.** (1988) One third of 18 year old male conscripts show noise induced hearing loss >20 dB before start of military service - the incidence being doubled since 1981. Reflecting increased leisure noise? In *Hearing, communication, sleep and nonauditory physiological effects* (Berglund B., Berglund U., Karlsson J., Lindvall T., eds.) Proceedings of the 5th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Stockholm 1988, Vol. 2, pp. 27-32. Swedish Council for Building Research, Stockholm.
27. **Borchgrevink H. M.** (1993) Music-induced hearing loss >20 dB affects 30% of Norwegian 18 year old males before military service - The incidence doubled in the 80's, declining in the 90's. In *Noise and Man '93* (Vallet M, ed.) Proceedings of the 6th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Nice 1993, Vol. 2, pp. 25-28. Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, Arcueil Cedex.
28. **Borchgrevink H.M., Woxen O.J.** (1998) Declining prevalence of high-frequency hearing loss >20 dB in Norwegian 18 y old males at military enrolment in the 1990's. In *Noise Effects '98* (Carter N., Job R.F.S., eds.) Proceedings of the 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney 1998, Vol. 1, pp. 59-62. Noise Effects '98 PTY LTD, Sydney.
29. **Bradley R., Fortnum H., Coles R.** (1987) Research note: patterns of exposure of schoolchildren to amplified music. *British Journal of Audiology* 21, 119-125.
30. **Brookhouser P. E., Worthington D. W., Kelly W. J.** (1992) Noise-induced hearing loss in children. *Laryngoscope* 102, 645-655.
31. **Bundesgesundheitsamt** (1991) Laute Musik beschleunigt Schwerhörigkeit. *BGA Pressedienst* 55/91.
32. **Burén M., Solem B. S., Laukli E.** (1992) Threshold of hearing (0.125-20 kHz) in children and youngsters. *British Journal of Audiology* 26, 23-31.
33. **Canlon B., Borg E., Flock A.** (1988) Protection against noise trauma by pre-exposure to a low level acoustic stimulus. *Hearing Research* 34, 197-200.
34. **Carter N., Murray N., Khan A., Waugh D.** (1984) A longitudinal study of recreational noise and young people's hearing. *Australian Journal of Audiology* 6, 45-53.
35. **Carter N. L., Waugh R. L., Keen K., Murray N., Bulteau V. G.** (1982) Amplified music and young people's hearing. Review and report of Australien findings. *The Medical Journal of Australia* August 7, 125-128.

36. **CENELEC** (2000) *EN 50332-1. Sound system equipment: Headphones and ear-phones associated with portable audio equipment. Maximum sound pressure level measurement methodology and limit considerations. Part 1: General method for "one package equipment"*. European Committee for Electrotechnical Standardization, Brussels.
37. **CENELEC** (in prep.) *EN 50332-2. Sound system equipment: Headphones and ear-phones associated with portable audio equipment. Maximum sound pressure level measurement methodology and limit considerations. Part 2: Guidelines to associate sets with headphones coming from different manufactures"*. European Committee for Electrotechnical Standardization, Brussels.
38. **Ceranic B. J., Prasher D. K., Luxon L. M.** (1997) Tinnitus following noise exposure: a review. *PANews* 3/97, 1-6.
39. **Cherek D.R.** (1985) Effects of acute exposure to increased levels of background industrial noise on cigarette smoking behavior. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 56, 23-30.
40. **Chew T. T.** (1990) Noise surveys in discotheques in Hong Kong. Key word: discotheques - noise - deafness - legislation. *Industrial Health* 28, 37-40.
41. **Clark W. W.** (1991) Noise exposure from leisure activities: a review. *J. Acoust. Soc. Am.* 90, 175-181.
42. **Cohen A., Anticaglia J., Jones H. H.** (1970) "Socioculus" - hearing loss from non-occupational noise exposure. *Sound and Vibration* 4, 12-20.
43. **Committee of the Health Council of the Netherlands** (1996) Effects of noise on health. *Noise/News International* September 1996, 137-150.
44. **Consensus Development Panel** (1990) Noise and hearing loss. *JAMA* 263, 3185-3190.
45. **Corwin J. T., Cotanche D. A.** (1988) Regeneration of sensory hair cells after acoustic trauma. *Science* 240, 1772-1774.
46. **Dancer A.** (2000) Individual susceptibility to NIHL and new perspective in treatment of acute noise trauma. *RTO Lecture Series* 219, 5.1-5.12.
47. **Davis A. C., Fortnum H. M., Coles R. R. A., Haggard M. P., Lutman M. E.** (1985) *Damage to hearing arising from leisure noise: a review of the literature* (MRC Institute of Hearing Research - Universität of Nottingham, ed.). Her Majesty's Stationery Office, London.
48. **Davis A.C., Lovell E.A., Smith P.A., Ferguson M.A.** (1998) The contribution of social noise to tinnitus in young people - a preliminary report. *Noise & Health* 1, 40-46.
49. **Davis H.** (1983) An active process in cochlear mechanics. *Hearing Research* 9, 79-90.
50. **Décory L., Guilhaume A., Dancer A., Aran J.-M., Buck K.** (1987) *Interspezifische Empfindlichkeitsunterschiede des Gehörorgans gegenüber Lärmwirkungen. Teil 1: Untersuchungen am Meerschweinchen*. ISL, Deutsch-Französisches Forschungsinstitut, Saint-Louis.
51. **Der Schweizerische Bundesrat** (1996) Verordnung über den Schutz des Publikums von Veranstaltungen vor gesundheitsgefährdenden Schalleinwirkungen und Laserstrahlen (Schall- und Laserverordnung) vom 24. Januar 1996 SR 814.49.
52. **Dey F. I.** (1970) Auditory fatigue and predicted permanent hearing defects from rock-and-roll music. *The New England Journal of Medicine* 282, 467-470.
53. **Dieroff H.-G.** (1994a) Kapitel 4.5: Hörmüdung. In *Lärmschwerhörigkeit* (Dieroff H.-G., ed.) pp. 208-222. Gustav Fischer Verlag, Jena.

54. **Dieroff H.-G.** (1994b) Kapitel 7: Weitere den Lärmhörschaden beeinflussende Faktoren. In *Lärmschwerhörigkeit* (Dieroff H.-G., ed.) pp. 271-273. Gustav Fischer Verlag, Jena.
55. **Dieroff H.-G.** (1994c) Kapitel 10: Ergebnisse und Auswertung audiometrischer Reihenuntersuchungen in Lärmbetrieben. In *Lärmschwerhörigkeit* (Dieroff H.-G., ed.) pp. 304-357. Gustav Fischer Verlag, Jena.
56. **Dieroff H.-G.** (1994d) *Lärmschwerhörigkeit*. Gustav Fischer Verlag, Jena.
57. **DIN 1320** (1969) *Akustik - Grundbegriffe*. Beuth-Verlag GmbH, Berlin.
58. **DIN 15905 Teil 5** (1989) *Tontechnik in Theatern und Mehrzweckhallen. Maßnahmen zum Vermeiden einer Gehörgefährdung des Publikums durch hohe Schalldruckpegel bei Lautsprecherwiedergabe*. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
59. **DIN 45630** (1967) *Teil 2: Normalkurven gleicher Lautstärkepegel*. Beuth Verlag, Berlin.
60. **DIN ISO 7029** (1984) *Akustik - Luftleitungshörschwelle in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht otologisch normalhörender Personen*. Beuth Verlag, Berlin.
61. **Downs M. P.** (1981) Contribution of mild hearing loss to auditory language learning problems. In *Auditory disorders in school children* (Roeser R. J., Downs M. P., eds.) pp. 177-189. Thieme-Stratton, New York.
62. **Epidemiologische Forschung Berlin** (1996) Hörgewohnheiten und Hörfähigkeit junger Erwachsener in der Bundesrepublik Deutschland. In *Gehörgefährdung durch laute Musik und Freizeitlärm* (Babisch W., Bambach G., Ising H., Kruppa B., Plath P., Rebertisch E., Struwe F., eds.) WaBoLu Hefte, Vol. 5/96, pp. 124-154. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, Berlin.
63. **Euler M.** (1997a) Das menschliche Gehör: I. Erstaunliche Funktionsprinzipien eines komplexen Systems. *Tinnitus-Forum* 2/97, 4-9.
64. **Euler M.** (1997b) Das menschliche Gehör: II. Von der passiven zur aktiven Wahrnehmung. *Tinnitus-Forum* 3/1997, 4-10.
65. **Fausti S. A., Erickson D. A., Frey R. H., Rappaport B. Z., Schechter M. A.** (1981) The effects of noise upon human hearing sensitivity from 8000 to 20 000 Hz. *J. Acoust. Soc. Am.* 69, 1343-1349.
66. **Fearn R. W.** (1981a) Hearing levels in school children aged 9-12 years and 13-16 years associated with exposure to amplified pop music and other noisy activities. *Journal of Sound and Vibration* 74, 151-153.
67. **Fearn R. W.** (1981b) Serial audiometry of school children and students exposed to amplified pop music. *Journal of Sound and Vibration* 74, 459-462.
68. **Fearn R. W.** (1989a) Hearing level of young subjects exposed to amplified music. *Journal of Sound and Vibration* 128, 509-512.
69. **Fearn R. W.** (1989b) Letters to the editor. Hearing levels of student and professional musicians. *Journal of Sound and Vibration* 133, 173-176.
70. **Fearn R. W., Hanson D. R.** (1984) Hearing level measurements of students aged 18-25 years exposed to amplified pop music. *Journal of Sound and Vibration* 94, 591-595.
71. **Fleischer G., Hoffmann E., Müller R., Lang R.** (1998) Kinderknallpistolen und ihre Wirkung auf das Gehör. *HNO* 46, 815-820.
72. **Französisches Verbrauchermagazin** (Datum unbekannt).
73. **G 20 Lärm** (1998) Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für die arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen. (HVBG Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, ed.) pp. 281-294. Gentner, Stuttgart.

74. **Gehrig W., Meyer P., Kuhl K.-D., Schmidt R., Grützmacher W., Ising H., Ishi K.** (1992) Der Einfluß von militärischem Tieffluglärm auf das Innenohr des Meerschweinchens. *Bundesgesundhbl.* 35, 149-150.
75. **Glorig A., Ward W. D., Nixon J.** (1961) Damage risk criteria and noise-induced hearing loss. *Arch. Otolaryng.* 74, 71-81.
76. **Greim H., Ising H.** (2000) Leisure noise-induced hearing loss: causes and regulatory consequences. *Noise & Health* 7, 89-90.
77. **Groothoff B., Young C., Thomson V.** (1998) Music levels in the entertainment industry, revelations of an ongoing study. In *Noise effects '98* (Carter N., Job R.F.S., eds.) Proceedings of the 7th international congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney 1998, Vol. 1, pp. 86-89. Noise Effects '98 PTY LTD, Sydney.
78. **Gruber J.** (1975) *Lärm: Wirkungen und Bewertung* Fortschritt-Berichte der VDI Zeitschriften, Reihe: Schwingungstechnik - Lärmbekämpfung, Vol. Reihe 11, Nr. 19. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf.
79. **Gruber J., Camp U. de** (1982) Zur Wirkung psychischer Einflußgrößen auf das Ausmaß der Vertäubung (TTS). *Z. Lärmbekämpfung* 29, 17-20.
80. **Gupta D., Vishwakarma S.K.** (1989) Toy weapons and firecrackers: a source of hearing loss. *Laryngoscope* 99, 330-334.
81. **Hamernik R. P., Henderson D., Crossley J. J., Salvi R. J.** (1974) Interaction of continuous and impulse noise: audiometric and histologic effects. *J. Acoust. Soc. Am.* 55, 117-121.
82. **Hanel J.** (1996) *Schuljugend und laute Musik* Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
83. **Hanel J.** (1998) Schuljugend und laute Musik: Ergebnisse empirischer Studien in Detmold. *Zeitschrift für Audiologie Suppl.* I/1998, 190-191.
84. **Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e. V.** (1976) Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen, Gehörgefährdung durch Lärm. In *Unfallverhütungsvorschrift "Lärm". Erläuterungen, Durchführungsregeln, Anmerkungen* (Bernhardt H., Jeiter W., eds.) pp. 135-141. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
85. **Hellbrück J., Schick A.** (1989) Zehn Jahre Walkman - Grund zum Feiern oder anlaß zur Sorge. *Z. Lärmbekämpfung* 36, 121-129.
86. **Hellström P. A.** (1991) The effects on hearing from portable cassette players: a follow-up study. *Journal of Sound and Vibration* 151, 461-469.
87. **Hellström P.-A., Axelsson A.** (1988) Sound levels, hearing habits and hazards of using portable cassette players. *Journal of Sound and Vibration* 127, 521-528.
88. **Henselman L.W., Henderson D., Subraminiam M., Sallustio V.** (1994) The effect of 'conditioning' exposures on hearing loss from impulse noise. *Hearing Research* 78, 1-10.
89. **Hesse G.** (2000) Hyperakusis - Eine Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörung. *Tinnitus-Forum* August 2000, 19-23.
90. **Héту R., Fortin M.** (1995) Potential risk of hearing damage associated with exposure to highly amplified music. *J. Am. Acad. Audiol.* 6, 378-386.
91. **Hitzler R.** (1996) Der Rave als Risiko. *Referat bei der 8. Sitzung der UBA-Kommission 'Soziakusis' am 15.11.1996 in Berlin.*
92. **Hoffmann E.** (1997) *Hörfähigkeit und Hörschäden junger Erwachsener.* Median-Verlag, Heidelberg.

93. **Hohmann B.** (1988a) Impulse noise limits and hearing conservation. In *Hearing, communication, sleep and nonauditory physiological effects* (Berglund B., Berglund U., Karlsson J., Lindvall T., eds.) Proceedings of the 5th international congress on Noise as a Public Health Problem, Stockholm 1988, Vol. 2, pp. 111-115. Swedish Council for Building Research, Stockholm.
94. **Hohmann B.** (1988b) *Musik und Hörschaden*. Suva, Schweizerische Versicherungsanstalt, Luzern.
95. **Hohmann B.** (2000) Experiences with the Swiss regulation to control loud music in discos and concert. *Noise & Health* in press.
96. **Hörmann H., Mainka G., Gummlich H.** (1970) Psychische und physische Reaktionen auf Geräusche verschiedener subjektiver Wertigkeit. *Psychol. Forsch.* 33, 289-309.
97. **Hudspeth A. J.** (1985) The cellular basis of hearing: the biophysics of hair cells. *Science* 230, 745-752.
98. **Hughes G. B.** (1989) Molecular and cellular biology of the inner ear. *The American Journal of Otology* 10, 28-35.
99. **HVBG** (1991) *Empfehlungen des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften für die Begutachtung der beruflichen Lärmschwerhörigkeit*, "Königsteiner Merkblatt". Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e. V., Sankt Augustin.
100. **Irion H.** (1979) Gehörschäden durch Musik - Kritische Literaturübersicht. *Kampf dem Lärm* 26, 91-100.
101. **Irion H., Roßner R., Lazarus H.** (1983) *Entwicklung des Hörverlustes in Abhängigkeit von Lärm, Alter und anderen Einflüssen* (Bundesanstalt für Arbeitsschutz, ed.) Forschungsbericht Nr. 370. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven.
102. **Ising H.** (1994) Gehörgefährdung durch laute Musik. *HNO* 42, 465-466.
103. **Ising H.** (1996) Gehörgefährdung durch laute Musik. *Soz. Präventivmed.* 41, 327-328.
104. **Ising H.** (2000) Sociacusis. *Noise & Health* in prep.
105. **Ising H., Babisch W.** (1998) Gehörschadensrisikos durch laute Musik und Akzeptanz von Pegelbegrenzungen: Überblick über empirische Studien des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene. *Zeitschrift für Audiologie* Suppl. 1/1998, 195-201.
106. **Ising H., Babisch W.** (2000) Schwerhörigkeit durch Freizeitlärm. In *Fortschritt und Fortbildung in der Medizin, Band 24 (2000/2001)* (Bundesärztekammer, ed.) pp. 31-39. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln.
107. **Ising H., Babisch W., Dziombowski D., Arentsschild O. v., Fischer R.** (1986) High-frequency audiometry using precision earphones: reliability under laboratory and field conditions. *Audiology* 25, 1-9.
108. **Ising H., Babisch W., Gandert J., Scheuermann B.** (1988) Hörschäden bei jugendlichen Berufsanfängern aufgrund von Freizeitlärm. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 35, 35-41.
109. **Ising H., Babisch W., Hane J., Kruppa B.** (1997) Loud music and hearing risk. *Journal of Audiological Medicine* 6, 123-133.
110. **Ising H., Babisch W., Hanel J., Kruppa B., Pilgramm M.** (1995a) Empirische Untersuchungen zu Musikhörgewohnheiten von Jugendlichen. Optimierung der Schallpegelbegrenzung für Kassettenabspielgeräte und Diskotheken. *HNO* 43, 244-249.
111. **Ising H., Kruppa B.** (1995) Gehörschäden durch laute Musik. *Bundesgesundhbl.* 38, 186-191.

112. **Ising H., Kruppa B.** (1996) Gesundheitsgefahren für Gehör und Herz durch laute Musik und Lärm. In *Fortschritte der Akustik* (Portele T., Hess W., eds.) Plenarvorträge und Fachbeiträge der 22. Deutschen Jahrestagung für Akustik (DAGA), Bonn 1996., Deutsche Gesellschaft für Akustik e. V., Oldenburg.
113. **Ising H., Sust C. A., Plath P.** (1995b) *Gehörschäden durch Musik* Gesundheitsschutz, Vol. 5. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.), Dortmund.
114. **Ising H., Sust C. A., Plath P.** (1995c) *Lärmwirkungen: Gehör, Gesundheit, Leistung* Gesundheitsschutz, Vol. 4. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Bundesanstalt für Arbeitsmedizin (Hrsg.), Dortmund.
115. **ISO 1999** (1990) *Acoustics - Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment*. International Organization for Standardization, Geneva.
116. **ISO R 226** (1961) *Normal equal-loudness contours for pure tones and normal threshold of hearing under free field listening conditions*. International Organization for Standardization, Geneva.
117. **Istas H.** (1997) *Hörgenuß statt Hörverlust. Praktische Prävention von Lärmschwerhörigkeit in der Schule. berichte und Materialien zum Einsatz im Unterricht in der Sekundarstufe 1 als Kooperationsprojekt von Schule und Gesundheitsamt* Berichte & Materialien Band 15. Akademie für öffentliches Gesundheitswesen, Düsseldorf.
118. **Janssen Th.** (1999) Möglichkeiten der DPOAE zur objektiven und quantitativen Erfassung von Funktionsstörungen des cochleären Verstärkers. *Z. Audiol.* 38, 136-144.
119. **Joachims Z., Ising H., Gehrig W., Meyer P., Wenzel M.** (1999) Effects of military low-altitude flight noise. Part II: animal experiments. *Z. Audiol.* 38, 128-135.
120. **Jokitulppo J. S., Björk E. A., Akaan-Penttilä E.** (1997) Estimated leisure noise exposure and hearing symptoms in Finnish Teenagers. *Scand. Audiol.* 26, 257-262.
121. **Kerry G., Lomax C., Wheeler P. D., James D. J.** (1998) The aural response to noise from low flying military fast jet aircraft. In *Noise effects '98* (Carter N., Job R. F. S., eds.) Proceedings of the 7th international congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney 1998, Vol. 2, pp. 619-622. Noise Effects '98 PTY LTD, Sydney.
122. **Kerscher G.** (1996) Umweltnoxen Freizeitlärm. *Münch. med. Wschr.* 138, 539/45.
123. **Knör H.** (2000) Sozialrecht: Berufliche Lärmschwerhörigkeit. *Tinnitus-Forum* August 2000, 38.
124. **Kommission "Soziakusis (Zivilisations-Gehörschäden)" des Umweltbundesamtes** (1995b) Gehörgefährdung durch laute Musik. *Z. Lärmbekämpfung* 42, 144.
125. **Kommission "Soziakusis (Zivilisations-Gehörschäden)" des Umweltbundesamtes** (1995a) Gehörgefährdung durch laute Musik. *Forum Städte-Hygiene* 46, 371-373.
126. **Kommission "Soziakusis (Zivilisations-Gehörschäden)" des Umweltbundesamtes** (1997) Pegelbegrenzung von elektronisch verstärkter Musik zum Schutz vor Gehörschäden. 8. Sitzung am 15. November 1996. *HNO* 45, 476.
127. **Kommission "Soziakusis (Zivilisations-Gehörschäden)" des Umweltbundesamtes** (2000) Pegelbegrenzung in Diskotheken zum Schutz vor Gehörschäden. *Bundesgesundheitsblatt* 43, 642-643.
128. **Körpert K.** (1992) Hearing thresholds of young workers. Proceedings of the 6th FASE congress, Zürich 1992, pp. 181-184. Swiss Acoust. Soc., Zürich.
129. **Körpert K.** (submitted for publication) Hearing threshold of 15 to 18 year old pupils and apprentices. *Manuscript*.
130. **Kryter K. D.** (1963) Hearing impairment of speech. *Arch. Otolaryngol.* 77, 598-602.
131. **Kryter K. D.** (1970) *The effects of noise on man*. Academic Press.

132. **Kryter K. D., Ward W. D., Miller J. D., Eldredge D. H.** (1966) Hazardous exposure to intermittent and steady-state noise. *The Journal of the Acoustical Society of America* 39, 451-464.
133. **Kühl J.-T.** (1997) *Untersuchung des Zusammenhanges von Schallpegeln und subjektiven Angaben zur Lautstärke von Musik* Diplomarbeit. Institut für Technische Akustik der Technischen Universität Berlin, Berlin.
134. **Kundi M., Kundi R., Stidl H.-G.** (1982) TTS nach kombinierter Impuls- und Dauerlärmbelastung. In *Erfolge und Prognosen der Lärmbekämpfung* Proceedings of the XII. AICB-Kongreß, pp. 69-75. Institut für Umwelthygiene der Universität Wien, Wien.
135. **Landsberg-Becher J.-W., Bock R., Dix I., Greif-Groß H., Kaiser R., Strasbaugh G.** (1997) *Lärm und Gesundheit, Materialien für 5. bis 10. Klassen*. Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung, Köln.
136. **Laroche C., Héту R., Poirier S.** (1989) The growth of and recovery from TTS in human subjects exposed to impact noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 85, 1681-1690.
137. **Laukli E., Mair I. W. S.** (1985) High-frequency audiometry. *Scand. Audiol.* 14, 151-158.
138. **Lees R. E. M., Hatcher-Roberts J., Wald Z.** (1985) Noise induced hearing loss and leisure activities of young people: a pilot study. *Canadian Journal of Public Health* 76, 171-173.
139. **Leßwing G., Hahn F.** (1988) *Disco - Gefahr für Auge & Ohr*. Zentralstelle für Sicherheitstechnik, Strahlenschutz und Kerntechnik der Gewerbeaufsicht des Landes NRW, Abt. Öffentlichkeitsarbeit, Düsseldorf.
140. **Levi H., Chisin R.** (1987) Can tinnitus mask hearing? A comparison between subjective audiometric and objective electrophysiological thresholds in patients with tinnitus. *Audiology* 26, 153-157.
141. **Lim D. J.** (1986) Funktional structure of the organ of corti: a review. *Hearing Research* 22, 117-146.
142. **Lindemann H. E., Klaauw M. M. van der, Platenburg-Gits F.A.** (1987) Hearing acuity in male adolescents (young adults) at the age of 17 to 23 years. *Audiology* 26, 65-78.
143. **Lindgren F., Axelsson A.** (1983) Temporary threshold shift after exposure to noise. *Ear and Hearing* 4, 197-201.
144. **Lindgren F., Axelsson A.** (1988) The influence of physical exercise on susceptibility to noise-induced temporary threshold shift. *Scand. Audiol.* 17, 11-17.
145. **Lutman M. E., Davis A. C.** (1994) The distribution of hearing threshold levels in the general population aged 18-30 years. *Audiology* 33, 327-350.
146. **Manninen O.** (1985) Cardiovascular changes and hearing threshold shifts in men under complex exposures to noise, whole body vibrations, temperatures and competition-type psychic load. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 56, 251-274.
147. **Matschke R. G.** (1993) Gehörschäden durch nichtberuflichen Lärm. *Deutsches Ärzteblatt* 90, A2240-A2242, C1518-C1519.
148. **Medical Research Council Institute of Hearing Research** (1986) Damage to hearing arising from leisure noise. *British Journal of Audiology* 20, 157-164.
149. **Meecham E. A., Hume K. I.** (1998) Tinnitus and attendance at night-clubs. In *Noise Effects '98* (Carter N., Job R.F.S., eds.) Proceedings of the 7th international congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney 1998, Vol. 1, pp. 106-109. Noise Effects '98 PTY LTD, Sydney.

150. **Mercier V., Hohmann B. W.** (2000) Wie laut soll Musik sein? In *DAGA 2000-Tagungsband* Vol. im Druck, Deutsche Gesellschaft für Akustik e. V., Oldenburg.
151. **Mercier V., Würsch P., Hohmann B.** (1998) Gehörgefährdung Jugendlicher durch überlauten Musikkonsum. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 45, 17-21.
152. **Merluzzi F., Arpini A., Camerino D., Barducci M., Marazzi P.** (1997) Hearing threshold in 18-19 year old Italians (in Italien). *Med. Lav.* 88, 183-195.
153. **Meyer J.** (2000) Wenn der Faden reißt. In *Quartal* (Raven H.-J. v., Guthmann A., eds.) Vol. 1, Heft 2/2000, pp. 1,6. EST! Medizintechnik AG, Reutlingen.
154. **Meyer J., Gummer A. W.** (2000) Physiologische Auswirkungen einer Zerstörung der Tip-Links cochleärer Haarsinneszellen. *HNO* 48, 282-389.
155. **Meyer-Bisch C.** (1996) Epidemiological evaluation of hearing damage related to strongly amplified music (personal cassette players, discotheques, rock concerts) - high-definition audiometric survey on 1364 subjects. *Audiology* 35, 121-142.
156. **Meyer-Falcke A.** (1994) Die Lärmschwerhörigkeit. In *Das Schalltrauma* (Pfander E., ed.) pp. 105-108. Bundesministerium für Verteidigung. Referat Hygiene, Arbeits-, Umweltmedizin, Bonn.
157. **Miller J. M., Dengerink H.** (1988) Control of inner ear blood flow. *Am. J. Otolaryngol.* 9, 302-316.
158. **Miyakita T., Miura H.** (1986) A tentative proposal for classification of audiograms in noise induced deafness: relationship between audiogram and subjective complaints in noise-exposed workers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 57, 173-183.
159. **Mori T.** (1985) Effects of record music on hearing loss among young workers in a shipyard. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 56, 91-97.
160. **Mühleib F.** (1986) Hörtest 1985, Wie gut hören die Deutschen? *Umweltmagazin* Oktober 1986, 12-13.
161. **Nakai Y., Masutani H.** (1988) Noise-induced vasoconstriction in the cochlea. *Acta Otolaryngol. Suppl.* 447, 23-27.
162. **Neyen S.** (1995) *Lärm macht krank. Ein Schulprojekt zum Thema Lärm.* Unabhängiges Institut für Umweltfragen e. V., Berlin.
163. **Neyen S.** (1997) *Lärm mach krank. Abschlußbericht über ein zweijähriges Schulprojekt zum Thema Lärm.* UfU, Unabhängiges Institut für Umweltfragen e. V., Berlin.
164. **Neyen S.** (1999) *Hörschäden bei Schüler/innen der Mittelstufe durch Musik & Freizeitlärm, Projektstudie mit Fördermitteln des Bundesministers für Gesundheit.* Unabhängiges Institut für Umweltfragen UfU e. V., Berlin.
165. **Nielsen D. W., Slepecky N.** (1986) Stereocilia. In *Neurobiology of hearing: The Cochlea* (Altschuler R. A., Bobbin R. B., Hoffmann D. W., eds.). Raven Press, New York.
166. **Nilsson P., Erlandsson B., H. Hakansson, Ivarsson A., Wersäll J.** (1980) Morphological damage in the guinea pig cochlea after impulse noise and pure tone exposures. *Scand. Audiol. Suppl.* 12, 155-162.
167. **Nilsson P., Rydmarker S., Grenner J.** (1987) III. Impulse noise and continuous noise of equivalent frequency spectrum and total sound energy. *Acta Laryngol. Suppl.* 441, 45-58.
168. **Oftedal G.** (1988) Noise-induced hearing damage caused by metabolic exhaustion: A mathematical model. *J. Acoust. Soc. Am.* 83, 1499-1507.
169. **Opitz H. J.** (1984) Ohrgeräusche- Ursachen und Behandlung. *Deutsches Ärzteblatt* 81, 2551-2557.
170. **Osterhammel D.** (1979) High-frequency audiometry and noise-induced hearing loss. *Scand. Audiol.* 8, 85-90.

171. **Panter C. H.** (1987) Hearing level measurements on students aged 18 to 25 years exposed to disco and pop music. *Journal of Sound and Vibration* 113, 401-403.
172. **Passchier-Vermeer W.** (1993) *Noise and health* Publication No. A93/02E. Health Council Of The Netherlands, The Hague.
173. **Passchier-Vermeer W., Vos H., Steenbekkers J. H. M.** (1998) *Popmusic through headphones and hearing loss* TNO-Report, Vol. 98.036. TNO Prevention and Health, Leiden.
174. **Patel T.** (1996) Falling on deaf ears. *Focus* Juni 1996, 12-13.
175. **Perlitz T., Schultes N., Hentschel F.** (1984) *Meinungsforschung über Diskothekenbesucher und Untersuchung der Musik als Lärm in Diskotheken* Wettbewerb "Jugend Forscht", Berlin.
176. **Pfander F., Pilgramm M., Meyer-Falcke A.** (1994) Begutachtung des akustischen Traumas. In *Das Schalltrauma* (Pfander F., ed.) pp. 129-146. Bundesministerium für Verteidigung. Referat Hygiene, Arbeits-, Umweltmedizin, Bonn.
177. **Pilgramm M., Bock K.** (1994) Das Knalltrauma. In *Das Schalltrauma* (Pfander F., ed.) Schriftenreihe Präventivmedizin - PM 1, pp. 79-99. Bundesministerium der Verteidigung, Bonn.
178. **Plath P.** (1981) *Das Hörorgan und seine Funktion*. Carl Marhold Verlagsbuchhandlung, Berlin.
179. **Plath P.** (1984) Begutachtung und Entschädigung der Lärmschwerhörigkeit. In *Gehör und Umwelt* (Stange G., ed.) pp. 175-178. Deutsches Grünes Kreuz, Marburg.
180. **Plath P.** (1994) Schwerhörigkeit durch Freizeitlärm. *HNO* 42, 483-487.
181. **Plath P.** (1995) Lexikon der Hörschäden. In *Ärztliche Ratschläge* pp. 1-85. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York.
182. **Plath P.** (2000) Beurteilung von Tinnitus spielt in der Sozialmedizin eine wichtige Rolle. *Tinnitus-Forum* Mai/2000, 28-30.
183. **Prasher D.** (1999) *Safer Sound. An analysis of musical noise and hearing damage*. The Royal National Institute For Deaf people, London.
184. **Price G. R., Kalb J. T.** (1991) Insight into hazard from intense impulses from a mathematical model of the ear. *J. Acoust. Soc. Am.* 90, 219-227.
185. **Price G. R., Kalb J. T.** (1998) A new approach: the auditory hazard assessment algorithm (AHAA). In *Noise effects '98* (Carter N., Job R. F. S., eds.) Proceedings of the 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney 1998, Vol. 2, pp. 725-728. Noise Effects '98 PTY LTD, Sydney.
186. **Rebentisch E., Lange-Asschenfeldt H., Ising H.** (1996) Gesundheitliche Risiken und Schäden infolge Hörens von Musik mit hohen Intensitäten. In *Gehörgefährdung durch laute Musik und Freizeitlärm* (Babisch W., Bambach G., Ising H., Kruppa B., Plath P., Rebentisch E., Struwe F., eds.) WaBoLu Hefte, Vol. 5/96, pp. 9-26. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, Berlin.
187. **Richtlinie 86/188/EWG** (1986) Richtlinie des Rates vom 12. Mai 1986 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Lärm am Arbeitsplatz. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften* Nr. L 137, 28-34.
188. **Rintelmann W. F., Lindberg R. F., Smitley E. K.** (1971) Temporary threshold shift and recovery patterns from two types of rock and roll music presentation. *The Journal of the Acoustical Society of America* 51, 1249-1255.
189. **Roberto M., Hamernik R. P., Salvi R.J., Henderson D., Milone R.** (1985) Impact noise and the equal energy hypothesis. *J. Acoust. Soc. A.* 77, 1514-1520.

190. **Roche A. F., Mukherjee D., Siervogel R. M., Chumlea W. C.** (1983) Serial changes in auditory thresholds from 8 to 18 years in relation to environmental noise exposure. In *Congress proceedings* (Rossi G., ed.) Proceedings of the 4th international congress on Noise as a Public Health Problem, Turin 1983, Vol. 1, pp. 285-296. Edizioni Tecniche a cura del Centro Ricerche e Studi Amplifon, Milano.
191. **Roche A. F., Siervogel R. M., Himes J. H., Johnson D. L.** (1978) Longitudinal study of hearing in children: Baseline data concerning auditory thresholds, noise exposure, and biological factors. *J. Acoust. Soc. Am.* 64, 1593-1601.
192. **Roeser R. J., Price D. R.** (1981) Audiometric and impedance measures : Principles and interpretation. In *Auditory disorders in school children* (Roeser R. J., Downs M. P., eds.) pp. 71-101. Thieme-Stratton, New York.
193. **Römer L.** (2000) How children experience noise. Presentation at the International Seminar "Children and Noise" in Copenhagen, National Institute of Public Health, Copenhagen.
194. **Rosen S., Olin P.** (1965) Hearing loss and coronary heart disease. *Arch. Otolaryng.* 82, 236-243.
195. **Rosenhall U., Axelsson A., Svedberg A.** (1993) Hearing in 18-year old men - Is high frequency hearing loss more common today than 17 years ago? In *Noise and man '93* (Vallet M, ed.) Proceedings of the 6th international congress on Noise as a Public Health Problem, Nice 1993, Vol. 2, pp. 119-122. Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, Arcueil Cedex.
196. **Rudloff F., Boldau R., Schuske G.** (1995) Untersuchungen zu Ausmaß und möglichen Folgen jugentlichen Musikkonsums. Teil II - Persönlichkeitseigenschaften und Musikkonsumverhalten. *Z. Lärmbekämpfung* 42, 9-12.
197. **Rudloff F., Specht H. von, Penk S., Pethe J., Schuske G.** (1996) Untersuchungen zu Ausmaß und möglichen Folgen jugentlichen Musikkonsums. Teil III - Ergebnisse von Schallpegelmessungen und audiologischen Untersuchungen. *Z. Lärmbekämpfung* 43, 9-14.
198. **Rydmarker S., Nilsson P.** (1987) II. Effects on the inner and outer hair cells. *Acta Oto-Laryngol. Suppl.* 441, 25-43.
199. **Rytznér B., Rytznér C.** (1981) Schoolchildren and noise. *Scand. Audiol.* 10, 213-216.
200. **Schmidt J. M., Verschuure J., Brocaar M. P.** (1994) Hearing loss in students at a Conservatory. *Audiology* 33, 185-194.
201. **Schönweiler R.** (1986) Ohrgeräusche : Ursachen, Bewertung und Therapie. *Dtsch. med. Wschr.* 111, 1489-1494.
202. **Schulz R., Döring V., Schwenk M.** (2000) *Foliensatz zum Thema "Freizeitlärm" (auf CD)*. Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart.
203. **Schuschke G.** (1998) Freizeitlärm durch Motorsport und andere Sportarten - Schutzziele für Betroffene. Manuskript zur Fachtagung des Landesumweltamtes Brandenburg, Potsdam 1998, pp. 1-3.
204. **Schuschke G., Rudloff F., Grasse S., Tanis E.** (1994) Untersuchungen zu Ausmaß und möglichen Folgen jugentlichen Musikkonsums, Teil I - Ergebnisse der Befragung. *Z. Lärmbekämpfung* 41, 121-128.
205. **Serra M. R., Biassoni E. C., Richter U., Minoldo G., Franco G., Abraham S., Joeke S., Yacci M. R., Pollet A. R.** (2000) A long-term study on high level music exposition and hearing effects in adolescents. In *Abstracts* (Cassereau D., ed.) Proceedings of the 29th International Congress on Noise Control Engineering, Nice 2000, pp. 34-35. Institut National de Recherche sur le Transports et leur Sécurité, Nice.

206. **Shirreffs J. H.** (1974) Recreational noise: implications for potential hearing loss to participants. *The Journal of School Health* 44, 548-550.
207. **Siervogel R. M. , Roche A. F.** (1982) Longitudinal study of hearing in children II: cross-sectional studies of noise exposure as measured by dosimetry. *J. Acoust. Soc. Am.* 71, 372-377.
208. **Silbernagl S., Despopoulos A.** (1991) *Taschenatlas der Physiologie*, 4. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
209. **Slepecky N.** (1986) Overview of mechanical damage to the inner ear : noise as a tool to probe cochlear function. *Hearing Research* 22, 307-321.
210. **Smith P., Davis A., Ferguson M., Lutman M.** (1999) Hearing in young adults report to ISO/TC43/WG1. *Noise & Health* 4, 1-10.
211. **Smith P. A., Davis A., Ferguson M., Lutman M. E.** (2000) The prevalence and type of social noise exposure in young adults in England. *Noise & Health* 6, 41-56.
212. **Smooenburg G. F.** (1993) Risk of noise-induced hearing loss following exposure to Chinese firecrackers. *Audiology* 32, 333-343.
213. **Smooenburg G. F.** (1998) Impulse noise. In *Noise effects '98* (Carter N., Job R. F. S., eds.) Proceedings of the 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney 1998, Vol. 1, pp. 1-10. Noise Effects '98 PTY LTD, Sydney.
214. **Spaeth J., Klimek L., Döring W.H., Rosendahl A., Mösges R.** (1993) Wie schlecht hört der "normalhörende" junge Mann des Jahres 1992 im Hochtonbereich. *HNO* 41, 385-388.
215. **Speaks C., Nelson D., Ward W.D.** (1970) Hearing loss in Rock-and-Roll musicians. *Journal of occupational medicine* 12, 216-219.
216. **Spreng M.** (1984) Auswirkungen des Lärms auf das Hören. In *Gehör und Umwelt* (Stange G., ed.) pp. 105-135. Deutsches Grünes Kreuz, Marburg.
217. **Spreng M.** (1994) Gehörschadensrichtige Impulsschallbewertung - Schädigungskriterien für Impulsschall. In *Lärmschwerhörigkeit* (Dieroff H.-G., ed.) pp. 250-270. Gustav Fischer Verlag, Jena.
218. **Stange G.** (1992) Hörtest, wie gut hören die Bürger der (alten) BRD und West-Berlins? *Interdisziplinäre Zeitschrift für Praxis, Klinik und Forschung* 2, 17-21.
219. **Strahl H.-M., Stübe G., Kusatz M., Pütz W.** (2000) *Unterrichtsbausteine "Take care of your ears"*. Deutsches Grünes Kreuz e. V., Marburg.
220. **Strauss P., Chüden H.** (1974) Ist das Gehör Jugendlicher durch Diskotheklärm gefährdet? *Klinikerarzt* 3, 77-82.
221. **Struwe F.** (1996) Zu viele Phon für junge Ohren. *Münch. med. Wschr.* 138, 46/540-48/542.
222. **Struwe F., Jansen G., Schwarze S., Schwenzer C., Nitzsche M.** (1996) Untersuchung von Hörgewohnheiten und möglichen Gehörrisiken durch Schalleinwirkungen in der Freizeit unter besonderer Berücksichtigung des Walkman-Hörens. In *Gehörgefährdung durch laute Musik und Freizeithörschall* (Babisch W., Bambach G., Ising H., Kruppa B., Plath P., Rebentisch E., Struwe F., eds.) WaBoLu Hefte, Vol. 5/96, pp. 44-123. Institut für Wasser-, Boden- und Luftthygiene des Umweltbundesamtes, Berlin.
223. **Swanson S. J., Dengerink H. A., Kondrick P., Miller C. L.** (1987) The influence of subjective factors on temporary threshold shifts after exposure to music and noise of equal energy. *Ear and Hearing* 8, 288-291.
224. **Szecsényi J., Sandholzer H.** (1995) *Hörstörungen in der Allgemeinpraxis* Im Auftrag der "Sektion Hören" im Deutschen Grünen Kreuz. Kilian Verlag, Marburg.
225. **Taylor C. F.** (1976) Hearing loss in new apprentices due to exposure to non-industrial noise. *J. Soc. Occup. Med.* 26, 57-58.

226. **The National Board of Health and Welfare's Code of Statutes** (1996) Indoor noise and high sound-levels. *The National Board of Health and Welfare' General Guidelines* decreed on 11 March 1996.
227. **Thomasius R., Jarchow C.** (1997) "Ecstasy". Psychotrope Effekte, Komplikationen, Folgewirkungen. *Deutsches Ärzteblatt* 94, C:286-289.
228. **Tip** (2000) Nachtleben - Berlins beste Nachtclubs. *Tip Magazin* März 2000.
229. **Turunen-Rise I., Flottorp G., Tvette O.** (1991) Personal cassette players ("Walk-man"), do they cause noise-induced hearing loss. *Scand. Audiol.* 20, 239-244.
230. **Umweltbundesamt** (1995) Lautes Musikhören ist die häufigste Ursache für Gehörschäden bei Jugendlichen. *Presse-Information* 10/95.
231. **Umweltbundesamt** (1997) Musiklautstärke runterdrehen. *Presse-Information* 17/97.
232. **UVV Lärm** (1997) *Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, BG-Vorschrift Lärm (BGV B3) vom 1. Januar 1990 in der Fassung vom 1. Januar 1997* (Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, ed.). Carl Heymanns Verlag, Köln.
233. **VDI-Richtlinie 2058 Bl. 2** (1988) *Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung* (VDI-Verlag GmbH, ed.). Beuth-Verlag, Berlin.
234. **Voorhees R. L.** (1970) Rock musik. *Postgraduate Medicine* July 1970, 108-112.
235. **Walger M., Kühner D.** (1999) *The effect of impulse noise on hearing. A literature study.* Report of the Department of Otolaryngology of the Cologne University Hospital, Cologne.
236. **Walker W. D.** (1972) Temporary threshold shift caused by combined steady-state and impulse noise. *J. Sound Vib.* 24, 493-.
237. **Ward W. D.** (1995) Endogenous factors related to susceptibility to damage from noise. *Occupational Medicine: State of the Art Reviews* 10, 561-575.
238. **Weber H. J., McGovern F. J., Zink D.** (1967) An evaluation of 1000 children with hearing loss. *Journal of Speech and Hearing Disorders* 32, 343-354.
239. **Werner E.** (1998) Musik aus ohrnahen Schallquellen - Entspannung oder zu reglementierende Gefahr? *Z. Lärmbekämpfung* 45, 122-126.
240. **West P. D. B., Evans E. F.** (1990) Early detection of hearing damage in young listeners resulting from exposure to amplified music. *British Journal of Audiology* 24, 89-103.
241. **WHO** (1980) *Noise* (Berglund B., Lindvall T., Schwela D. H., eds.) Environmental Health Criteria Document No. 12. World Health Organization, Geneva.
242. **WHO** (2000) *Guidelines for community noise* (Berglund B., Lindvall T., Schwela D. H., eds.) <http://www.who.int/peh/>. World Health Organization, Geneva.
243. **Wilson R. H., Steckler J. F., Jones H. C.** (1978) Adaption of the acoustic reflex. *J. Acoust. Soc. Am.* 64, 782-791.
244. **Wissenschaftlicher Beirat der Bundesärztekammer** (1999) Gehörschäden durch Lärmbelastungen in der Freizeit. *Deutsches Ärzteblatt* 96, A 1081-1084, B 836-839, C 760-763.
245. **Wolfbauer R.** (1999) *Laut ist Out! Lärmschutz ist In* (Umweltdachverband ÖGNU Wien, ed.) Eine Initiative des Bundesministeriums für Umwelt und Familie und des Bundesministeriums für Unterricht und kulturelle Angelegenheiten. Forum Umweltbildung, Graz.
246. **Zenner H.-P.** (1999) Schwerhörigkeit durch Freizeitlärm. *Deutsches Ärzteblatt* 96, A 1052-1053, B 810-811, C 737-738.

- 247. **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.** (1999) Gehörschäden durch Freizeitlärm. *HNO* 47, 236-248.
- 248. **Zenner P., Plinkert P. K.** (1994) Aspekte der Physiologie und Pathophysiologie der Schallverarbeitung im Innenohr bei Lärmexposition. In *Lärmschwerhörigkeit* (Dieroff H.-G., ed.) pp. 163-186. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- 249. **Zimmermann S.** (1994) *Zusammenhang zwischen zeitweiliger Hörschwellenverschiebung und Kurzzeit-Mittelungspegel in Berliner Diskotheken* Studienarbeit. Institut für Technische Akustik der Technischen Universität Berlin, Berlin.

Pegelbegrenzung in Diskotheken zum Schutz vor Gehörschäden

12. Sitzung der Kommission „Soziakusis (Zivilisations-Gehörschäden)“ des Umweltbundesamtes¹ am 25. Februar 2000

Die Kommission hat auf ihrer Sitzung folgenden Beschluss gefasst:

In einer kürzlich veröffentlichten Literaturübersicht über Gehörschäden durch Freizeitlärm [1] wird gezeigt, dass laute Musik das Gehör gefährdet. Bei Jugendlichen ist bis zum Alter von ca. 16 Jahren das Musikhören über Kopfhörer die höchste Belastung. Mit höherem Alter wird dann die Musikbelastung in Diskotheken und bei Großveranstaltungen zur größten Gehörgefährdung für chronischen Tinnitus und bleibende Hörschwellenverschiebungen (PTS). Da beides unheilbare Gehörschädigungen sind, ist es notwendig, die Bevölkerung und die verantwortlichen Betreiber von Diskotheken und Musikveranstaltungen aufzuklären und zu warnen.

Ab einer Schallbelastung mit einem Mittelungspegel von 85 dB(A) bezogen auf 40 Stunden pro Woche ist mit einer Gehörschädigung zu rechnen. Bei einer Pegelerhöhung um 10 dB wird dieselbe Gehörschädigung bereits bei 1/10 der Einwirkdauer erreicht; bei 3 dB höherem Pegel verringert sich die Einwirkdauer um die Hälfte.

Folgende Schallbelastungsbeispiele bewirken dieselbe Gehörschädigung:

85 dB(A) während 40 Stunden pro Woche,
95 dB(A) während 4 Stunden pro Woche,
105 dB(A) während 24 Minuten pro Woche,
108 dB(A) während 12 Minuten pro Woche.

Ein Teil der Jugendlichen und jungen Erwachsenen ist beruflich an einem Lärmarbeitsplatz tätig. Sie exponieren sich in der eigentlich als Gehörerholungsphase erforderlichen Freizeit zusätzlich. Das führt zu einer Verkürzung der Gehörerholungsphase, wodurch sich das Gesamtrisiko dieser Bevölkerungsgruppe von Jugendlichen und jungen Erwachsenen erheblich erhöht.

Therapieverfahren zur Heilung einer lärminduzierten Innenohrschwerhörigkeit gibt es nicht. Ein chronischer Hörverlust ist irreversibel. Zur partiellen Rehabilitation mittel- und hochgradiger Hörverluste stehen nur Hörgeräte sowie elektronische Hörimplantate zur Verfügung. Gehörschäden bei Kindern und Jugendlichen beeinträchtigen nicht nur die persönliche Entfaltung im Privatleben, sondern schränken insbesondere auch die späteren

Möglichkeiten der Berufswahl ein. Berufe mit hoher Lärmbelastung (zum Beispiel Automechaniker, Metall- oder Textilarbeiter) und andere Berufe (z.B. Polizist) sind ausgeschlossen, da bei auffälligen Hörverlusten im Rahmen von arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen „dauernde gesundheitliche Bedenken“ gegen die Beschäftigung an einschlägigen Arbeitsplätzen geltend gemacht werden müssen.

Im Freizeitbereich stellt Musik nach einer repräsentativen Befragung junger Erwachsener in der Bundesrepublik Deutschland die wichtigste Schallbelastung dar [2]. Die höchsten Musikschallpegel treten bei Musikgroßveranstaltungen in der Nähe der Lautsprecher auf. Hier erreichen die Schallpegel zum Teil 120 dB(A). Messungen in 29 Berliner Diskotheken ergaben 1985 Mittelungspegel zwischen 92 und 110 dB(A). Ca. zehn Jahre später wurden fast identische Musikschallpegel in 14 Berliner Diskotheken ermittelt [3]. Im Laufe einer Nacht wird mit zunehmender Besucherzahl häufig ein Anstieg der Musikpegel beobachtet.

Diese Ergebnisse zeigen, dass zum Schutz vor Gehörschäden durch zu laute Musik die Musikschallpegel begrenzt werden müssen. Dies gilt sowohl für tragbare Musikwiedergabegeräte als auch für Musikveranstaltungen (z.B. Diskotheken).

Da Frankreich bereits eine nationale Einzelinitiative zur Pegelbegrenzung bei tragbaren Musikwiedergabegeräten unternommen hat, wird eine europaweite Regelung erarbeitet. Für Diskotheken und Musikgroßveranstaltungen hat die Schweiz im Jahr 1996 als Grenzwert einen Mittelungspegel von 93dB(A) eingeführt, der in Ausnahmefällen mit behördlicher Genehmigung auf 100 dB(A) erhöht werden darf.

Die Bundesärztekammer [4] empfahl in ihrer Stellungnahme zu Gehörschäden durch Lärmbelastung in der Freizeit, dass ähnlich den Regelungen in der Schweiz und in Frankreich Pegelbegrenzungen auch in Deutschland vorgeschrieben werden sollten. Im Folgenden wird diese Stellungnahme auszugsweise zitiert:

Dabei muss der Schutz der erwachsenen Bevölkerung sowie besonders der Schutz von Kindern und Jugendlichen realisiert werden. Nach dem Jugend-

schutzgesetz § 1 Satz 1 gilt, „[...] dass die zuständigen Behörden oder Stellen die zur Abwendung von Gefahr für das körperliche [...] Wohl erforderlichen Maßnahmen zu treffen haben“.

Folgende Pegelbegrenzungen lassen sich begründen [Zenner et al., 1999] und sollten vorgeschrieben werden: In Diskotheken Begrenzung des Dauerschallpegels auf 95 dB(A), bezogen auf den lautesten Bereich der Veranstaltungsorte gemäß DIN 15905 Teil 5 („Tontechnik in Theatern und Mehrzweckhallen - Maßnahmen zum Vermeiden einer Gehörgefährdung des Publikums durch hohe Schalldruckpegel bei Lautsprecherwiedergaben“).

Für Geräte mit Ohrhörern und lärmgebende Spielzeuge werden ebenfalls Pegelbegrenzungen empfohlen. Zur Frage der Haftung im Schadensfall wird ausgeführt:

Geräte mit Kopfhörern oder sonstige Lärm verursachende Produkte unterliegen den Bestimmungen des Produktsicherheitsgesetzes und des Produkthaftungsgesetzes. Diese Gesetze nehmen Bezug auf technische Normierungen, die von Herstellern und Händlern zu beachten sind, um eine Haftung für eventuell eintretende Schadensfälle zu vermeiden. In vergleichbarer Weise sind technische Normierungen für Konzertveranstalter und Betreiber von Diskotheken haftungsrechtlich relevant. Es wird empfohlen, dass zum Schutz der Zuhörer bei öffentlichen Veranstaltungen (Diskotheken; Open-Air-Konzerten) die für die Bedienung technischer Anlagen - insbesondere der Lautstärkeregelung - verantwortliche Person ausreichende Kenntnisse über die mögliche Gesundheitsgefährdung durch hohe Schalldruckpegel (> 95 dB(A)) gegenüber dem Veranstalter/Betreiber nachweisen muss. Entsprechende Ausbildungsgänge für diesen Bereich (z.B. „Tontechniker“, „Toningenieur“, „Fachkraft zur Veranstaltungstechnik“) sollten die Vermittlung dieser Kenntnisse umfassen.

Befragungen von Jugendlichen in der Schweiz nach Einführung der oben genannten Pegelbegrenzung [5] sowie in Deutschland bei Verwendung eines pegelbegrenzten Musikabspielgerätes [3] zeigen, dass Pegelbegrenzungen mit hoher Akzeptanz angenommen werden. In beiden Fällen waren nur ca. 5 % der Jugendlichen mit den reduzierten Musikpegeln unzufrieden. Die Hälfte der befragten Diskobesucher in der Schweiz empfanden die Musik trotz Pegelbegrenzung als zu laut. In Deutschland wären 92 % der befragten Jugendlichen mit einer Pegelbegrenzung in Diskotheken einverstanden [3].

Auf der Grundlage des Standes von Wissenschaft und Technik wird den Diskothekenbetreibern empfohlen, Pegelbegrenzungen nach DIN 15905 Teil 5 vorzunehmen, um dadurch die Gäste vor Gehörschäden zu schützen sowie haftungsrechtliche Klagen zu vermeiden.

Literatur

1. Zenner HP, Struwe V, Schuschke G, Spreng M, Stange G, Plath P, Babisch W, Rebentisch E, Plinkert P, Bachmann KD, Ising H, Lehnert G (1999) Gehörschäden durch Freizeitlärm. HNO 47; 236-248
2. Epidemiologische Forschung Berlin (1996) Hörgewohnheiten und Hörfähigkeit junger Erwachsener in der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse der repräsentativen Befragung 18- und 19jähriger Personen. In: Babisch W, Bamback G, Ising H, Kruppa B, Plath P, Rebentisch E, Struwe F (Hrsg.) Gehörgefährdung durch laute Musik. Wa Bo Lu Hefte 5/96, 124-154. Umweltbundesamt, Berlin.
3. Ising H, Babisch W (1998) Gehörschadensrisiko durch laute Musik und Akzeptanz von Pegelbegrenzungen: Überblick über empirische Studien des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene. Zeitschrift für Audiologie, Supplementum I, 195-201
4. Bundesärztekammer (1999) Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirates, Gehörschäden durch Freizeitlärm in der Freizeit. Deutsches Ärzteblatt 96 (16), 836-839
5. Hohmann B (2000) Experiences with the Swiss regulation to control loud music in discos and concerts. Noise and Health (im Druck)

¹ Zusammensetzung der Kommission

Geschäftsführer:

Dr. H. Ising (Berlin)

Ernannte ständige Mitglieder:

Dr. H. Berndt (Berlin)

Prof. Dr. P. Plath (Haltern)

Prof. Dr. G. Schuschke (Magdeburg)

Prof. Dr. G. Stange (Karlsruhe)

Prof. Dr. H.-P. Zenner (Tübingen)

Fr. Dr. H. Irion (Freiburg)

Prof. Dr. J. Hellbrück (Eichstätt)

Dr. M. Liedtke (St. Augustin)

Beratende ständige Teilnehmer:

Dr. W. Babisch (Berlin)

Prof. Dr. H.-G. Dieroff (Jena)