

Aus dem Institut für Musikermedizin  
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.

(Prof. Dr. B. Richter)



## **HÖRPROBLEME BEI MUSIKERN**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Medizinischen Doktorgrades  
der Medizinischen Fakultät  
der Albert-Ludwigs-Universität  
Freiburg im Breisgau

Vorgelegt 2008  
von Julia Holstein  
geboren in Heidelberg

Dekan: Prof. Dr. C. Peters

1. Gutachter: Prof. Dr. B. Richter

2. Gutachter: PD. Dr. C. Bödeker

Jahr der Promotion: 2009

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG, PROBLEMDARSTELLUNG UND ZIEL DER ARBEIT</b>	<b>5</b>
1.1	Definition „Lärm“	8
1.2	Grundlagen der Akustik	9
1.3	Anatomie und Physiologie des Ohres	11
1.4	Die Pathophysiologie des Innenohres	16
1.5	Innenohrerkrankungen	21
1.5.1	Akutes Schalltrauma	21
1.5.2	Chronisches Schalltrauma	23
1.5.3	Akute Hörstörung	27
1.5.4	Toxische Schäden	28
1.5.5	Schwindelerkrankungen	28
1.6	Pathologie des akustischen Traumas	29
1.7	Faktoren der Lärmschwerhörigkeit	31
1.8	Berufskrankheit Lärmschwerhörigkeit	32
1.9	Alter und Geschlecht als Einflussfaktoren	39
1.10	Ton und Geräusch in ihrer gehörschädigenden Wirkung	35
1.11	Unterschied zwischen Impulslärm und Dauerlärm	36
1.12	Die Schalleitungsschwerhörigkeit als Lärmschutz	38
1.13	Protektive Stimulation durch ein Geräusch	39
<b>2.</b>	<b>MATERIAL UND METHODE</b>	<b>41</b>
2.1	Literaturrecherche	41
2.2	Gliederung der gefundenen Quellen nach definierten Kriterien	41
2.3	Datenbankrecherche	41
<b>3.</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>42</b>
3.1	Qualitätsmerkmale der Studien	42
3.2	Dynamik und Schalleistung von Orchesterinstrumenten	43
3.3	Lautstärkeadaptation bei Musikern im Vergleich zu Nichtmusikern	43
3.4	Affektive Kopplung	45
3.5	Olivocochleäre efferente Suppression bei Musikern	48

3.6	Exkurs: Soziakusis	48
3.7	Studienlage bei Musikern	49
3.8	Reviews in der Literatur	76
3.9	Vergleich Musik/Industrielärm	83
3.10	Vergleich Rockmusik/Klassische Musik	85
3.11	Gehörschutz	88
3.11.1	Präventionsprogramme	89
3.11.2	Lärmvorsorgeuntersuchungen	90
3.11.3	Persönlicher Gehörschutz	91
3.11.4	Baumaßnahmen	93
<b>4.</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>95</b>
<b>5.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>105</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>105</b>
<b>7.</b>	<b>ANHANG</b>	<b>105</b>
7.1	Tabelle über Qualitätsmerkmale von Studien	125
7.2	Übersicht über die erarbeiteten Studien	125

## 1. Einleitung, Problemdarstellung und Ziel der Arbeit

Die Musikermedizin untersucht typische Beschwerdebilder von Musikern (Musikerkrankheiten) und sucht nach Therapieansätzen.

Der verwandte Forschungsbereich der Musikphysiologie befasst sich mit der Erforschung der physiologischen Grundlagen des Musizierens.

Bei dem oft synonym verwendeten Begriff der Musikergesundheit geht es vor allem um die Gesunderhaltung und das Wohlbefinden des Musikers sowie um vorbeugende Maßnahmen.

Durch stundenlanges Üben werden viele Muskelgruppen einseitig beansprucht, so dass es bei vielen Amateur- und Profimusikern zu Verspannungen im Schulter- und Rückenbereich kommt. Je nach Haltung und Art des Instrumentes sind verschiedene Körperregionen betroffen. Aber auch seelisch-psychische Probleme wie Lampenfieber und die Lärmschwerhörigkeit sind Fokus der Forscher, die sich mit Musikermedizin beschäftigen.

Einer der bedeutendsten Wissenschaftler dieses Faches ist *Christoph Wagner*, der 1974 das *Institut für Musikphysiologie und Musikermedizin an der Hochschule für Musik und Theater Hannover* gründete. Mit der Gründung dieses Institutes gelang ihm die erstmalige Verankerung musik-physiologischer Forschung und Lehre in einer europäischen Musikhochschule. Von ihm stammt das Grundlagenwerk *Hand und Instrument*.

Bereits 1486 stellt Savonarolas in Padua fest: "Durch kräftiges Blasen, dem Aufblähen des Bauches, sind Trompeter und Flötenspieler von Brüchen betroffen". "Ganz hervorragende Trompeter spannen sich so an, dass sie Blut speien." "Oft sogar schneiden sie sich selbst unvermutet den Lebensfaden ab", schreibt Diemerbroek (1685), Utrecht, über seine Beobachtungen. Die Entwicklung der bürgerlichen Gesellschaft im späten 19. Jahrhundert führte in der Musik zu einer zunehmenden Professionalisierung des Musikerberufs und des instrumentalen Unterrichts. Dies hatte zur Folge, dass einerseits die gesundheitlichen Störungen, andererseits aber auch deren professionelle Erforschung zunahm. Schon 1832 gab in Berlin Karl Sundelin einen „Ärztlichen Rathgeber für Musiktreibende“ heraus. In den 20er Jahren schrieb Julius Flesch über die *Berufskrankheiten des Musikers* (Flesch, 1925). Die Beschäftigung mit der Gesundheit von Musikern hat an der heutigen Universität der Künste Berlin eine bemerkenswerte Vergangenheit. Bereits 1898 wurden an der Staatlichen Akademischen Hochschule für Musik Berlin von dem Arzt Dr. Flatau Seminare über Anatomie, Physiologie und Hygiene der Stimme eingerichtet. Von 1905 bis 1922 setzte Dr. Katzenstein - ein HNO-Arzt - diesen Unterricht fort. Er war der Vorgänger von Kurt Singer. Der Nervenarzt Dr. Kurt Singer veröffentlichte 1926 das Buch *Berufskrankheiten der Musiker*, er lehrte seit 1923 an der Hochschule für Musik Berlin. Nach ihm wurde das Kurt-Singer-Institut für Musikermedizin in Berlin (Universität der Künste und Musikhochschule Hanns Eisler) benannt (Homepage des Kurt-Singer-Institutes, v.a. historischer Überblick). Daneben wurde 1994 die *Deutsche Gesellschaft für Musikphysiologie und Musikermedizin* gegründet, die jedes Jahr einen Kongress ausrichtet.

In Deutschland existieren derzeit 90 Opernhäuser und 140 Symphonieorchester. Dort sind 40 000 hauptberuflich angestellte Musiker beschäftigt. 37 000 freiberufliche Musiker und 26 000 Musikstudenten gibt es darüber hinaus.

900 000 Kinder in öffentlichen Musikschulen und 7 000 000 Deutsche singen oder spielen regelmäßig ein Instrument.

Die fünf Besonderheiten der Musikermedizin:

- Beginn der „Berufsausbildung“ in Kindheit/Jugend (Selbstdefinition über das Musizieren)
- Lustbetonte, stark mit Emotionen besetzte Tätigkeit (Angst bei Bedrohung der Berufsfähigkeit)
- Kontinuierliche Überprüfbarkeit der Leistung (extrem hoher gesellschaftlicher Druck)
- Arbeiten an der körperlich-geistigen Leistungsgrenze (Störanfälligkeit bei minimalen gesundheitlichen Einbußen)
- häufig ungünstige Instrumenten-Ergonomie und asymmetrische Spielhaltung (erhöhtes Vorkommen von Schmerzsymptomen und Nervenkompressions-Syndromen)

Musizieren verändert auch folgende Komponenten im menschlichen Gehirn:

- Effizienz der Synapsen
- Rekrutierung von Neuronen
- Anzahl der Synapsen
- Anzahl der Dendriten
- Anzahl der Nervenzellen
- Dicke der Barkung
- Interaktion mit dem Stützgewebe und Durchblutung des Gewebes

Dass Lärm potenziell unser Gehör schädigen kann, ist schon seit mehr als 150 Jahren bekannt. Die erste Publikation zum pathologisch-anatomischen Korrelat der Lärmschwerhörigkeit stammt von Habermann (Habermann, 1890). Habermann führte an beiden Ohren eines verstorbenen Kesselschmiedes makroskopische und mikroskopisch-patho-histologische Untersuchungen durch. Er beschrieb eine Atrophie des Cortischen Organs, besonders im Endteil der Schneckenwindung als Ursache der lärmbedingten Schwerhörigkeit.

Beck und Mitarbeiter konnten in systematischen experimentellen Untersuchungen die Schädigungsmuster der feingeweblichen Strukturen des Innenohres detailliert beschreiben (Beck und Michler, 1960; Beck, 1984).

Die Annahme, dass eine progrediente Degeneration der äußeren Haarzellen das wesentliche morphologische Substrat der Lärmschwerhörigkeit ist, während die inneren Haarzellen weiterhin funktionieren, hat bis heute ihre Gültigkeit.

#### Definition Lärmschwerhörigkeit:

Bei der sogenannten Lärmschwerhörigkeit handelt es sich um eine zivilisationsbedingte Erkrankung, die vermutlich zumindest seit dem Zeitpunkt existiert, als der Mensch begann, künstlichen Lärm zu erzeugen. Bereits im 19. Jahrhundert befasste sich eine Vielzahl von Autoren mit der Lärmschwerhörigkeit und differenzierte hierbei vorwiegend zwischen durch Knalltraumen (Gewehr) erzeugtem Lärm und Hörverlust infolge langjähriger Arbeit, z. B. bei Kesselschmieden und Schlossern.

Schon 1929 wurde die „durch Lärm verursachte Taubheit oder an Taubheit grenzende Schwerhörigkeit“ in die Liste der Berufskrankheiten aufgenommen (aktuell BK Nr. 2301 der Berufskrankheiten-Liste).

Seit mehr als 20 Jahren stellt die Lärmschwerhörigkeit in der Jahresstatistik die Häufigste als entschädigungspflichtig anerkannte Berufskrankheit dar. Im Jahre 2003 wurden bei einem Anstieg von 6,1 % im Vergleich zum Vorjahr 7.294 Fälle als „Berufskrankheit Lärmschwerhörigkeit (BK 2301)“ anerkannt.

Obwohl mittlerweile effektive Arbeitsschutz- und Aufklärungsmaßnahmen in den Lärmarbeitsbereichen greifen, muss für die Zukunft befürchtet werden, dass im Laufe der nächsten Jahrzehnte zu den vorhandenen Leistungsfällen weitere Fälle hinzukommen, bei denen auch außerbetriebliche Schädigungen für die Genese mitverantwortlich sind.

Während die Lärmschwerhörigkeit infolge chronischen Lärms bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts vorwiegend als berufsbedingtes Krankheitsbild diskutiert wurde, tauchten in der Literatur etwa seit Mitte der 70er Jahre regelmäßig Berichte über eine mögliche Minderung des Hörvermögens durch chronischen Freizeitlärm insbesondere bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen auf. Die Häufigkeit derartiger Veröffentlichungen sowohl in der Fachliteratur als auch in der Laienpresse korrelierte mit der Verbreitung des sogenannten „Walkman“ und der zunehmenden Popularität von Diskotheken und Rockkonzerten.

Während zunächst in den skandinavischen Ländern sowie in den USA Untersuchungen zum gehörschädigenden Einfluss von Umwelt- und Freizeitlärm insbesondere bei Jugendlichen durchgeführt wurden, fanden in der Bundesrepublik Deutschland derartige Studien erst Mitte der 80er Jahre statt.

In den 60er Jahren gab es erste Studien über die Gehörgefährdung bei Musikern durch ihr Instrument. Seitdem wurde viel Gegensätzliches zu diesem Thema publiziert.

Die Zielsetzung der Arbeit war, die bislang publizierten Befunde und Erkenntnisse zur Frage der Gehörschädigung bei Musikern durch das Spielen im Orchester bzw. in einer Band und bei Discjockeys und Tontechnikern zusammenzutragen und zu analysieren.

Hierbei sollten insbesondere die folgenden Fragestellungen erläutert werden:

1. Besteht für Musiker durch die jahrelange Ausübung ihres Berufes ein Risiko, eine Lärmschwerhörigkeit zu entwickeln? Wie groß ist dieses Risiko?
2. Lassen sich quantitative Zusammenhänge zwischen dem potenziell hörschädigenden Agens (Art des Lärms, Intensität, Expositionsdauer) und den Audiometriebefunden aufzeigen?
3. Kann das Risiko einer irreversiblen Hörminderung im Einzelfall eingeschätzt bzw. von den oben genannten Randbedingungen abhängig gemacht werden?
4. Welche Möglichkeiten der Vorbeugung und Prophylaxe gibt es?

Außerdem wird am Rande auch das Problem des Freizeit- und Umweltlärms, sowie des industriellen Lärms, dem Arbeiter ausgesetzt sind, behandelt.

### **1.1 Definition „Lärm“**

Als „Lärm“ bezeichnet man jede Art von Schall, der als unerwünscht und belästigend empfunden wird und eine Gesundheitsgefährdung darstellt. Lärm ist nach DIN unerwünschter Schall. Lärm wird als störender, belästigender oder gefährdender Schall bezeichnet. Beide Definitionen zeigen, dass Lärm kein physikalisches, sondern ein psychologisch-medizinisches Phänomen ist, welches stark von subjektiven Einschätzungen geprägt ist. Lärm ist demzufolge auch nicht mit physikalischen Geräten messbar, weil sich die individuellen Empfindungen sich objektivierbaren Messverfahren entziehen. Messbar ist hingegen der auftretende Schall. Lärm kann das Wohlbefinden beeinträchtigen und bis zu beträchtlichen gesundheitlichen Schäden führen. Für das Auffinden und Minimieren von Lärm stehen normierte Verfahrensweisen und Schallschutz zur Verfügung.

Differenziert wird zwischen Impusllärm, zum Beispiel von Stanzmaschinen [ $> 90 \text{ dB(A)}$ ], und Dauerlärm, zum Beispiel in Tischlerwerkstätten, Sägewerkstätten und in der Blechindustrie. Für die Anerkennung einer berufsbedingten Lärmschwerhörigkeit ist mindestens ein Wochenlärmmexpositionspegel von  $\geq 85 \text{ dB(A)}$  erforderlich. Jede Schwerhörigkeit, die durch berufliche Lärmbelastung entstanden sein kann, muss der Berufsgenossenschaft gemeldet werden.



## 1.2 Grundlagen der Akustik

Adäquater Reiz für das Hörorgan sind Schallwellen, die von einer Schallquelle ausgehen und sich in Gasen, Flüssigkeiten und festen Stoffen fortpflanzen. Hauptschallträger ist die Luft. An der Schallquelle wird die Luft abwechselnd verdichtet und verdünnt. Diese Druckschwankungen (*Schallwellen*) breiten sich mit Schallgeschwindigkeit ( $c$ ) aus. Trägt man die Schalldruckschwankungen graphisch auf, ergeben sich wellenförmige Kurven. Der Abstand zweier benachbarter Orte gleichen Schalldrucks wird mit *Wellenlänge* bezeichnet, die maximale Abweichung des Druckes von der Ruhelage als *Amplitude*. Die Einheit für den Schalldruckpegel ist Dezibel (dB). Die Tonhöhe wird meist durch Angabe der Tonfrequenz charakterisiert, die angibt, wie oft an einer Stelle des Schallfeldes pro Sekunde die Schalldruckschwankung auftritt. Einheit der Frequenz ist das Hertz. Streng genommen wird nur eine reine, sinusförmige Schwingung als *Ton* bezeichnet. Der Ton der meisten Schallquellen (Musikinstrumente, Gesang) setzt sich jedoch aus Tönen unterschiedlicher Frequenzen und Amplituden zusammen (Grundton und Obertöne). Dabei entsteht eine komplizierte, aber doch periodenförmige Schwingung, ein sog. *Klang*. Der darin enthaltene niedrigste Ton (Grundton) bestimmt die *Tonhöhenempfindung des Klanges*, die höheren Töne ergeben die *Klangfarbe* (Silbernagel und Despopoulos, 2003).

Die *Lärmbelastung* wird als sog. Beurteilungspegel gemessen. Der mittlere Verlauf einer kontinuierlichen Lärmpegelmessung wird als energieäquivalenter Dauerschallpegel bestimmt. Zur Beurteilung bestimmter Lärmsituationen wird der Schallpegel auf einen achtstündigen Arbeitstag bezogen. Bei stark impulshaltigen Geräuschen sind zusätzliche Messungen erforderlich, da kurze Einzelereignisse mit hohen Schallpegeln zu einer unmittelbaren Schädigung des Gehörs führen können.

Da das menschliche Ohr tiefe und sehr hohe Töne schlechter als die Frequenzen von 1-4 kHz hört, wird diese unterschiedliche Empfindlichkeit des Gehörs für die verschiedenen Frequenzen mittels elektronischer Filter als sog. „*A-Bewertung*“ von Schallereignissen berücksichtigt, sie wird in dB(A) angegeben.

*Beurteilungspegel* unter 85 dB(A) verursachen mit hoher Wahrscheinlichkeit langfristig keine erheblichen Beeinträchtigungen der Hörfähigkeit. Ausnahmen bilden dabei Personen mit vulnerablen Innenohr.

Im Bereich zwischen 85 und 89 dB(A) kann es zu ersten Hörschädigungen kommen.

Ab 90 dB(A) ist mit einer deutlichen Gehörgefährdung zu rechnen.

Bei der Einschätzung von Lärmpegeln muss berücksichtigt werden, dass das *Dezibel* (dB) eine logarithmische Verhältniszahl ist. So kommt es beispielsweise bei jeder Erhöhung des Beurteilungspegels um 3 dB bereits zu einer Verdopplung des physikalischen Schalldruckes und damit auch zu einer Verdopplung der Gehörgefährdung. Eine zweistündige Belastung mit 93 dB(A) entspricht somit einer vierstündigen Beschallung mit 90 dB(A). Eine Belastung mit 105 dB(A), wie sie in manchen

Diskotheiken zu messen ist, bedeutet nach 4,8 min schon die gleiche Gehörgefährdung wie eine achtstündige Belastung mit 85 dB(A) z. B. an einem Lärmarbeitsplatz (Plontke und Zenner, 2004).

Unser Gehör funktioniert bei der Intensitätswahrnehmung, wie übrigens auch bei der Tonhöhenwahrnehmung, in gewissen Grenzen logarithmisch.

Mit wachsender Reizgröße sinkt die Empfindungsgröße zunehmend; der Arbeitsbereich (=Dynamikbereich) unseres Gehörs ist – bezogen auf die Empfindung – progressiv komprimiert. Und zwar so, dass jede Vervielfachung der Reizgröße unabhängig von deren Absolutwert als äquidistant wahrgenommen wird.

Dementsprechend stuft unser Gehör beispielsweise eine Änderung der Reizgröße von 1 auf 10 als gleichen Abstand wie den Anstieg von 10 auf 100 oder von 100 auf 1000 ein.

Mathematisch lässt sich dieser Sachverhalt in Form des sog. „Weber-Fechnerschen-Gesetzes“ fassen, das mit gewissen Einschränkungen für alle unsere Sinneswahrnehmungen gilt.

$$\text{Empfindungsgröße} = \text{Konstante}_1 \times \log_{10}(\text{Reizgröße}) + \text{Konstante}_2$$

Die Empfindungsgröße steigt mit dem Zehnerlogarithmus ( $\log_{10}$ ) der Reizgröße an.

Deshalb ist es zweckmäßig, in der Audiometrie mit Größen zu arbeiten, die diesem logarithmischen Zusammenhang gerecht werden.

Und damit bietet sich die logarithmisch definierte Verhältnisgröße Schalldruckpegel, kurz „Schallpegel“ genannt, für Gehörmessungen an:

$$\text{Schallpegel (in dB)} = \log_{10}(\text{Schallintensität } I / \text{Referenzintensität } I_0)$$

oder

$$\text{Schallpegel (in Dezibel)} = 10 \times \log_{10}(\text{Schallintensität } I / \text{Referenzintensität } I_0)$$

Da die Schallintensität  $I$  dem Quadrat des Schalldrucks  $p$  proportional ist ( $I \sim p^2$ ), gilt:

$$\text{Schallpegel (in Dezibel)} = 10 \times \log_{10}(\text{Schalldruck } p / \text{Referenzschalldruck } p_0)^2$$

und damit gilt endlich:

$$\text{Schallpegel (in Dezibel)} = 20 \times \log_{10}(\text{Schalldruck } p / \text{Referenzschalldruck } p_0)$$

(Das Quadrat wird als Faktor 2 von dem Logarithmus gezogen.)

Durch die Festlegung des Referenzschalldruckes  $p_0$  mit dem Wert  $20 \mu\text{Pascal}$  ergibt sich ein Schallpegel von 0 dB.

So entspricht der Anstieg von 2 auf  $20 \mu\text{Pascal}$ , ebenso wie der von 20 auf  $200 \mu\text{Pascal}$ , jeweils einer Pegelanhebung von 20 dB; das heißt, dass diese Skala exakt das Verhalten unseres Gehörs beschreibt.

Zu klären bleibt noch die praktische Bedeutung des Bezugs- oder Referenzschalldrucks  $p_0$ . Dafür wurde ein Schalldruck von  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$  (=  $20 \mu\text{Pascal}$ ) verbindlich vereinbart, was einem Referenzwert für die Schallintensität  $I_0$  von  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  (Watt/Quadratmeter) entspricht.

Grundsätzlich hätte man jeden beliebigen Wert als Referenz festlegen können. Da aber der als Referenzschalldruck  $p_0$  gewählte Wert in etwa der normalen Hörschwelle bei 1 kHz entspricht, ist es kein Zufall, dass die Hörschwelle Normalhörender für einen 1 kHz-Ton bei etwa 0 dB liegt.

Das ergibt sich durch das Einsetzen in die obigen Gleichungen:

Nimmt nämlich der Schalldruck den Wert des Referenzschalldruckes an ( $p=p_0$ ), so wird der Quotient  $p/p_0$  gleich 1. Und da der Logarithmus von 1 gleich 0 ist, ergibt sich für  $p_0$ , dem Schalldruck nahe der Hörschwelle, ein Pegel von 0 dB.

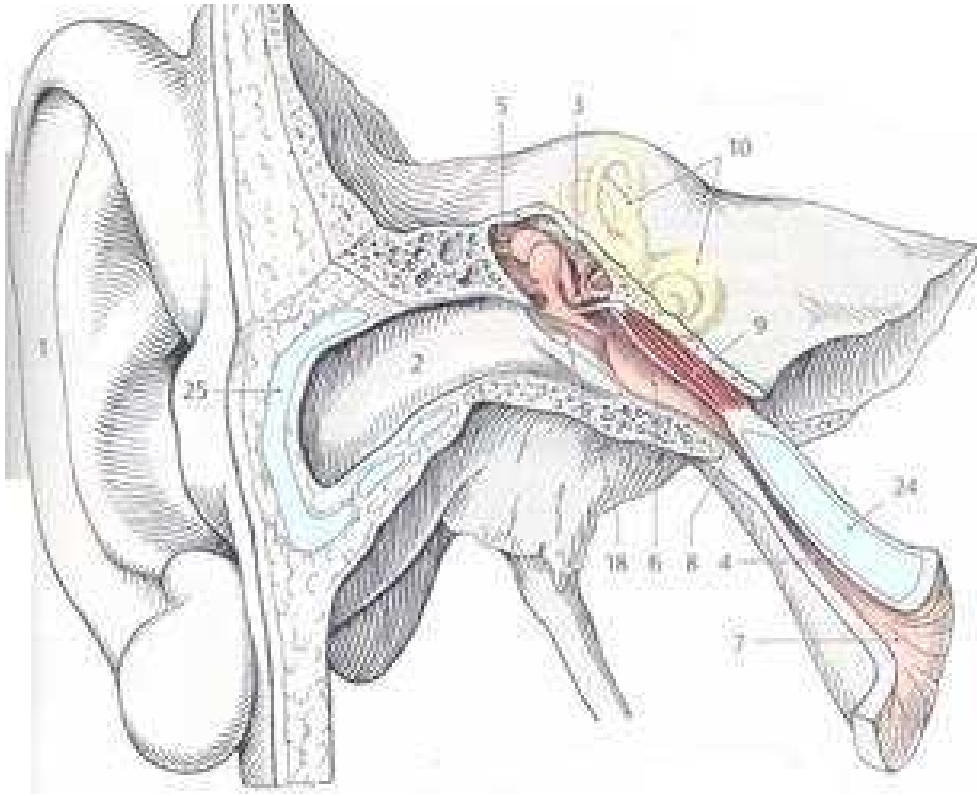
Da ein Kollektiv von Normalhörenden natürlich keinen einheitlichen Hörschwellenpegel von (etwa) 0 dB aufweist, sondern dieser um den mittleren Schwellenwert im Sinne einer Normalverteilung streut, findet man hin und wieder Normalhörende mit Schwellenwerten von -5 oder -10 dB.

Ebenso liegt eine Hörschwelle von +5 oder +10 dB auch noch im Bereich der Norm und muss noch nicht als Hörverlust interpretiert werden.

### 1.3 Anatomie und Physiologie des Ohres

Die Schallwellen erreichen das Hörorgan hauptsächlich über die Ohrmuschel und den Gehörgang (*Außenohr*), der am Trommelfell endet. Die Schalldruckschwankungen (Luftleitung) versetzen das Trommelfell in Schwingungen, die sich über die Gehörknöchelchen in der Paukenhöhle (Mittelohr) auf die Membran des ovalen Fensters übertragen (Abb. 1). Dort beginnt das Innenohr (Labyrinth).

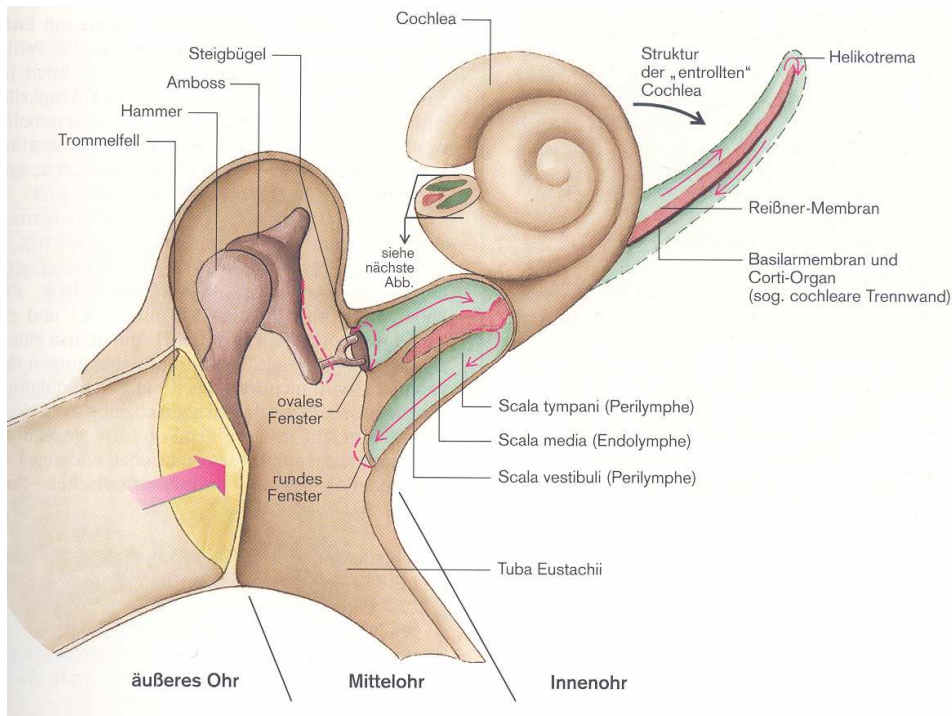
Im *Mittelohr* übertragen Hammer, Amboss und Steigbügel die Schwingungen des Trommelfells auf das ovale Fenster (22-fache Druckverstärkung). Ihre Aufgabe ist die verlustarme Übertragung des Schalls von einem Medium mit niedrigem (Luft) zu einem mit hohem (Flüssigkeit) Wellenwiderstand (Impedanz). Die zwei Muskeln des Mittelohres (M. tensor tympani, M. stapedius) sind in der Lage, die Übertragung niederfrequenten Schalls etwas abzuschwächen. Reflektorische Konstanthaltung der Intensität dieses Schalls, Schutz gegen lauten Schall, Reduzierung störender, vom Hörenden selbst erzeugter Geräusche sind einige Aufgaben dieser Muskeln.



1 Auricula (Ohrmuschel); 2 Meatus acusticus externus (Gehörgang); 3 Cavum tympani (Paukenhöhle); 4 Tuba auditiva (Ohrtrumpete); 5 Recessus epitympanicus; 6 Ostium tympanicum; 7 Ostium pharyngeum; 8 Isthmus tubae; 9 *M. tensor tympani*; 10 knöchernes Labyrinth; 18 Membrana tympani (Trommelfell); 24 Cartilago tubae (Tubenknorpel); 25 Ohrmuschelknorpel

Abb. 1: Darstellung des Ohres

Taschenatlas Anatomie in 3 Bänden Band 3, Nervensystem und Sinnesorgane; 9. Auflage



*Abb.2 Schema von Mittelohr und Innenohr. Die Cochlea ist entrollt, um die Scalen besser darstellen zu können. Bewegungen des Steigbügels übertragen sich auf die Perilymphe der Scala vestibuli. Klinke, Rainer, Silbernagl, Stefan; Pape, Hans Chr: [Ed.]: Physiologie*

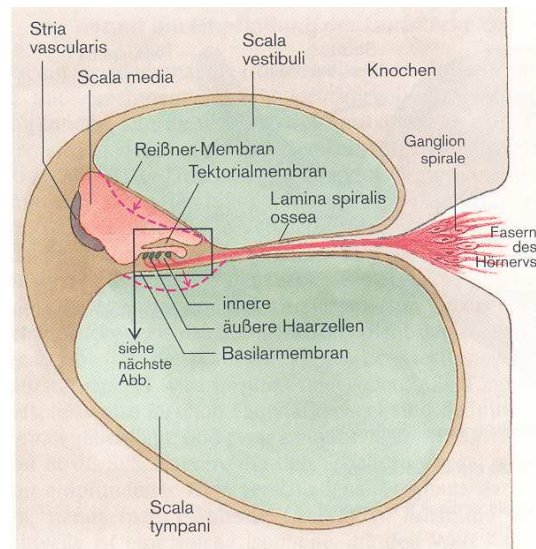
Das *Innenohr* oder die Gehörschnecke (Cochlea) befindet sich im Felsenbein, dem härtesten Knochen des Menschen, und bildet zusammen mit dem Gleichgewichtsorgan eine anatomische Einheit.

Innerhalb der durch die knöcherne Berandung gebildeten Schnecke befinden sich drei Unterteilungen (Kompartimente), die als Scala vestibuli, Scala tympani und Scala media bezeichnet werden. Das ovale Fenster (Abdichtung des Innenohrs gegenüber der Steigbügel-Fußplatte) mündet in die Scala vestibuli, die am oberen Ende der Schnecke (Helicotrema) mit der Scala tympani verbunden ist, die wiederum über das runde Fenster elastisch gegenüber dem Mittelohr abgedichtet ist (Abb. 2). Scala tympani und Scala vestibuli sind mit Perilymphe gefüllt, deren Zusammensetzung der außerhalb von Körperzellen befindlichen Flüssigkeit (Interstitial-Flüssigkeit) entspricht, die einen niedrigen Kalium- und einen hohen Natrium-Gehalt aufweist.

Die Scala media ist dagegen mit Endolymphe gefüllt, die der Intrazellulär-Flüssigkeit entspricht und einen hohen Kalium- und niedrigen Natrium-Gehalt aufweist. Dementsprechend weist die Scala tympani und Scala vestibuli eine Spannungs-Differenz von etwa -40 bis -85 mV gegenüber der Scala media auf. Diese Spannungsdifferenz liegt einerseits an der Basilarmembran an, die die Scala media von der Scala tympani abtrennt und zum anderen an der Reißnerschen Membran zwischen der Scala media und Scala vestibuli.

Für die Schallwandlung ist insbesondere die Schwingungsform der Basilarmembran von Bedeutung.

Bei periodischer Druckerregung über das ovale Fenster bewirkt die Druckdifferenz zwischen Scala vestibuli und Scala tympani die Ausbreitung einer Wanderwelle entlang der Basilarmembran, bei der die niedrigen Frequenzen am Ende (in der Nähe des Helicotrema) und die hohen Frequenzen am Anfang der Basilarmembran zu der stärksten Querauslenkung führen.



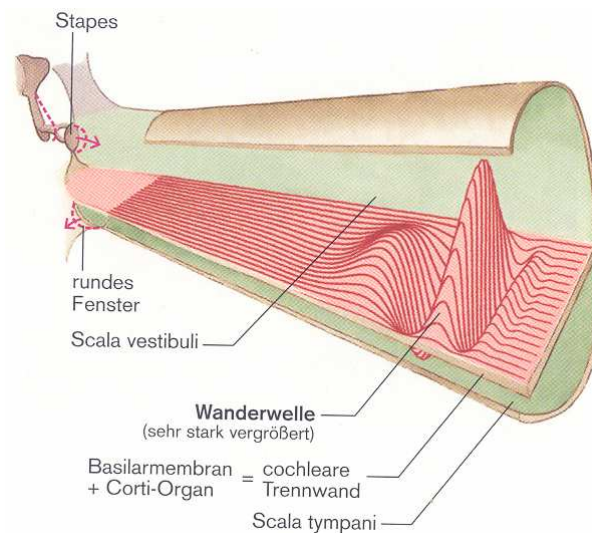
*Abb.3 Querschnitt durch die Cochlea. Angedeutet sind die Auslenkungen von Reibner-Membran und Basilarmembran bei Beschallung. Scala vestibuli und Scala tympani enthaltene Perilymphe (grün), die Scala media Endolymphe (rot).*

*Klinke, Rainer, Silbernagl, Stefan; Pape, Hans Chr: [Ed.]: Physiologie*

Dabei ist zu beachten, dass die Druckausbreitung in den flüssigkeitsgefüllten Räumen sehr schnell vor sich geht, während sich die Wanderwelle (als Konsequenz des periodischen Druckunterschieds zwischen den beiden Kompartimenten) erst langsam, mit einer gewissen Zeitverzögerung aufbaut. Dabei hat die Scala media mechanisch gesehen keine eigenständige Rolle, sondern ist schwingungsmäßig vollständig mit der Scala vestibuli gekoppelt. Wichtig für die Auftrennung in die verschiedenen Anregungsfrequenzen entlang der Basilarmembran ist die Tatsache, dass die Basilarmembran am basalen Ende der Cochlea (in der Nähe des runden Fensters) sehr schmal ist (und ein entsprechend langer knöcherner innerer Rand existiert), während sie zum Schneckende hin immer breiter wird und geringere elastische Rückstellkräfte aufweist.

Diese Struktur führte zu der Annahme von Helmholtz (Ende 19. Jahrhundert), dass die Basilarmembran, ähnlich wie die Seiten eines Klaviers, aus auf bestimmte Frequenzen abgestimmten, schwingungsfähigen Saiten besteht, deren Resonanz-Bedingungen durch eine bestimmte Saitenspannung und Saitenlänge und Saitenmassebelegung bestimmt wird. Diese Theorie hat sich

nicht bestätigt, u. a., weil die Basilarmembran nicht einer derart starken Querspannung unterliegt (z. B. „klaffen“ die beiden Seiten einer Basilarmembran nicht auseinander, wenn sie aufgeschnitten wird). Durchgesetzt hat sich dagegen die Vorstellung von v. Békésy und Ranke aus der Mitte des 20. Jahrhunderts, dass die Schwingungsform der Basilarmembran eine Wanderwelle ist. Dies entspricht etwa der Wellenfortleitung auf einem an einer Seite periodisch ausgelenkten Seil, das mit wachsender Entfernung von der Anregungsstelle im Querschnitt deutlich anwächst und dessen Aufhängung deutlich schlaffer wird, sodass sich bei schneller Anregung (hohe Frequenzen) ein Schwingungsmaximum am Anfang und bei langsamer Anregung (tiefe Frequenzen) ein Schwingungsmaximum am Ende ergibt. Die Wanderwelle in der Cochlea. Die Welle läuft entlang von Basilarmembran, Tektorialmembran und Reißner-Membran vom Steigbügel in Richtung Schneckenkammer (Abb. 4).



*Abb.4 Darstellung der Wanderwelle*

*Klinke, Rainer, Silbernagl, Stefan; Pape, Hans Chr: [Ed.]: Physiologie*

Die Wellenamplitude ist aus didaktischen Gründen in Abb. 4 beträchtlich überhöht.

Bei Modellrechnungen hierzu stellt sich heraus, dass die Schneckenform der Cochlea keinen Einfluss auf die Form der Wanderwellen-Ausbreitung besitzt, ebenso wenig die elektrische Ladungsverteilung zwischen den Kompartimenten. Die Breite und die Höhe der Scalen beeinflusst nur in sehr geringem Maß die Wellenausbreitung, während die Breite und die Steifigkeit der Basilarmembran (als Funktion des Ortes) einen entscheidenden Einfluss auf die Form der Wanderwelle ausüben.

Die Sinneszellen des Hörorgans sind die 10.000-12.000 äußeren und die 3.500 inneren Haarzellen, die auf der Basilarmembran aufsitzen. Die ca. 100 Zilien (eigentlich Mikrovilli) der in drei Reihen angeordneten schlank-zylindrischen äußeren Haarzellen sind fest mit der Tektorialmembran verbunden. Die äußeren Haarzellen sitzen mit ihrer Basis über Stützzellen auf der Basilarmembran; ihre Zellkörper werden von der Perilymphe der Nuel-Räume umspült. Die äußeren Haarzellen werden



vom Spiralganglion v.a. efferent innerviert. Die birnenförmigen, völlig von Stützzellen umgebenen inneren Haarzellen, deren Zilien frei in die Endolymphe ragen, sind in nur einer Reihe angeordnet und haben synaptischen Kontakt zu > 90 % der afferenten Spinalganglionfasern (Abb. 5).

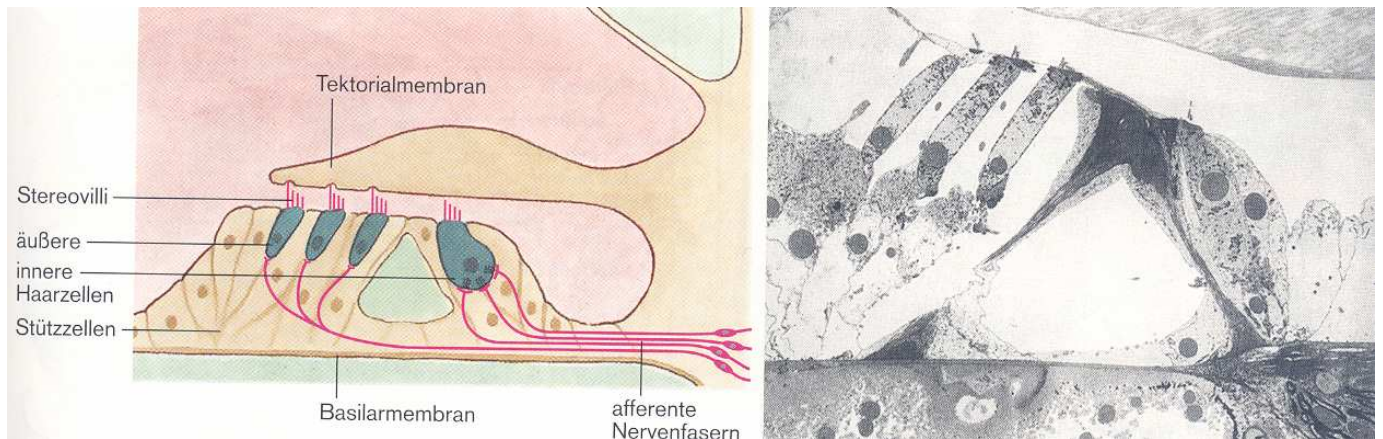


Abb. 5 Querschnitt durch das Corti-Organ, links im Schema, rechts in einer elektronenmikroskopischen Aufnahme (H. Spoendlin, Innsbruck).

Klinke, Rainer, Silbernagl, Stefan; Pape, Hans Chr: [Ed.]: Physiologie

Die Schwingungen des Endolymphschlauches verursachen winzige (ca. 0,3 nm) Verschiebungen der Tektorialmembran gegenüber der Basilarmembran, sodass die Zilien der äußeren Haarzellen abgeschert und so ihrerseits gegeneinander verschoben werden. Dadurch öffnen sich Kationenkanäle in der Zilienmembran, sodass Kationen ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ) einströmen und die äußeren Haarzellen depolarisieren. Dies führt reizsynchron zur Verkürzung der äußeren Haarzellen. Die nachfolgende Zilienabscherung in der Gegenrichtung führt zur Hyperpolarisation und zur Verlängerung der äußeren Haarzellen. Diese von der Erregung der äußeren Haarzellen abhängigen Vorgänge sind Teil eines Verstärkerprozesses, der den inneren Haarzellen vorgeschaltet ist (cochleärer Verstärker).

#### 1.4 Die Pathophysiologie des Innenohres

Lärm kann zu einem Innenohrschaden mit vorübergehendem oder dauerndem Hörverlust und Tinnitus führen.

*Audiologisch* erkennt man einen lärminduzierten Hörverlust an einer Schwellenabwanderung im Tonaudiogramm, am Recruitment bei überschwelligen Hörtests, am Amplitudenrückgang oder Verlust otoakustischer Emissionen sowie ggf. an einem Sprachverständlichkeitsverlust im Sprachaudiogramm.



Für die *Entstehung eines cochleären Hörschadens* kommen eine Exposition mit Dauerlärm, Lärm mit hohen Schalldruckspitzen (Impulslärm) bzw. Knall- und Explosionstraumata in Frage. Impulslärm kann zu ausgeprägteren Läsionen des Innenohres führen als Dauerlärm.

*Kriterien*, die bei der Ausbildung einer Lärmschädigung bedeutend sind, sind Schalldruckpegel, Pegelanstieg, Expositionszeit sowie die individuelle Empfindlichkeit („Vulnerabilität des Innenohres“). Eine Lärmexposition führt typischerweise zunächst zu einer temporären Schwellenabwanderung, genannt *TTS* (temporary threshold shift). Kommt es danach nicht zu einer genügenden Erholung des Ohres, kann eine permanente Innenohrschädigung resultieren (*PTS*, permanent threshold shift). Aber auch die sofortige Entstehung einer *PTS* und/oder eines Dauertinnitus sind möglich. Bei wiederholter Exposition gegenüber Lärm besteht trotz zwischenzeitlicher Erholung ein zunehmendes Risiko einer permanenten Schwellenverschiebung (*PTS*).

Das Ohr besitzt offensichtlich ein schalltraumatisches Gedächtnis.

Diese temporären und permanenten Schwellenabwanderungen lassen sich teilweise auf *funktionelle Änderungen im Cortischen Organ* des Innenohres zurückführen. Vor allem kommt es durch Lärmbelastung zu direkten mechanischen Schäden der Haarzellen, besonders an den äußeren Haarzellen. Dabei können die physiologisch steifen und aufrecht stehenden Stereozilien sich von der Tektorialmembran entkoppeln. Eine frühe mikromechanische Reaktion der äußeren Haarzellen auf Lärm ist die Stereozilienerweichung durch den Verlust der Steifheit der Stereozilien. Dabei erscheinen die Stereozilien weich und umgebogen, aber nicht geknickt. Diese Veränderungen erklärt man durch die Folgen des metabolischen Schadens, nämlich eines Abbaus von Zytoskelettproteinen. Bei längerer Dauer und höherer Intensität des schädigenden Stimulus kann es zum Abknicken und schließlich zum Verlust der Stereozilien kommen. Außerdem können cochleäre Schäden durch eine metabolische Dekompensation entstehen, was Apoptosen im Innenohr zur Folge hat. Bei sehr hohen Schallintensitäten kann es auch zu unmittelbaren nekrotischen Zelluntergängen und mechanischen Zerreißen im Innenohr kommen.

In den äußeren Haarzellen ist vor allem der cochleäre Verstärker und damit der Motor der aktiven Wanderwellenbewegungen vulnerabel gegenüber Lärm. Klinisch manifestiert sich ein solcher Schaden an einem Amplitudenrückgang oder Verlust otoakustischer Emissionen sowie am positiven Recruitment.

Das *Risiko*, einen Hörverlust durch Lärmeinwirkung zu erleiden, steigt mit der Amplitude und der Dauer der Belastung. Durch Lärm am stärksten betroffen ist die Region um 4 kHz (C5-Senke) (Plontke und Zenner, 2004).

Zwei *pathogenetische Vorgänge* kann man bei Lärmeinwirkung auf das Ohr beobachten, zum einen ein *mechanisches Trauma*, das direkt zur Schädigung der Architektur der Innenohrstrukturen, und zum anderen eine *metabolische Stressreaktion*, die durch überlauten Schall stimuliert wird. In der Cochlea ist von Lärm besonders das Cortische Organ mit den Haarsinneszellen und ihren Stützzellen

betroffen, sowie der medial zum Cortischen Organ gelegene Limbus und das lateral gelegene Spiralligament und die Stria vascularis. Darüber hinaus können die afferenten Neurone des Hörnerven und die Spiralganglienzellen geschädigt werden.

Als Erstes und eigentlich immer sind die äußeren Haarzellen bei einer Lärmschädigung mitbetroffen. Die Elektromotilität der Sinneszellen bildet die Voraussetzung für den lokalen, aktiven Verstärkungsmechanismus in der Cochlea. Die isolierte Schädigung oder der Verlust der äußeren Haarzellen führt dann zu einer erheblichen Verschlechterung der Steuerung der Wanderwelle mit Hörschwellenverlusten und Recruitment. Bei niedrigen Schalldruckpegeln wird die Wanderwelle nicht mehr aktiv verstärkt, sodass der Schall erst oberhalb der schlechten physiologischen Schwelle der inneren Haarzellen ab 50-70 dB gehört wird. Klinisch resultiert hieraus eine Schwellenanhebung um 50-70 dB im Tonaudiogramm. Die Nichtlinearität geht verloren, sodass beim Kranken ein lauter Ton, der einem leiseren folgt, zu einer relativ stärkeren Zunahme der Wanderwelle, als dies unter physiologischen Bedingungen geschieht, führt. Ein Recruitment kann daher als ein Hinweis auf einen cochleären, insbesondere einen äußeren Haarzellschaden aufgefasst werden.

Der metabolische Stress, in den die Zelle bei Lärmeinwirkung gerät, ist eine netzwerkartige Verflechtung der ablaufenden biochemischen Prozesse. Vor allem kommt es zur massiven Erhöhung der extrazellulären Glutamatkonzentration, zum Einstrom von Kalzium in die Zelle (Exzitoxizität) und zur Bildung von freien Sauerstoffradikalen.

Durch Lärm verursachte Nekrosen in der Cochlea zeigen eine passive und ungeordnete Form des Absterbens der Zellen, bei der diese ihren Zellinhalt in toxischer Form freisetzen (Zenner, 1999).

Bei Versuchen an insgesamt 90 Meerschweinchen durch Beck 1956 zeigte sich, dass bei adäquaten Reizen die Kerne der äußeren Haarzellen des Cortischen Organs ein im Allgemeinen ausgeglichenes Bild aufwiesen (Beck, 1956). Die Ruhekerne überwogen bei weitem. Fast nur die Kerne der 1. Reihe der äußeren Haarzellen arbeiteten.

Bei den Tieren, die in einem Raum mit einem Lärmpegel unter 30 dB gehalten wurden, wiesen die Haarzellen-Kerne eine größere Aktivität auf.

Vorwiegend die Kerne der 1. Reihe arbeiteten, doch waren jetzt auch vermehrt die Kerne der 2. und seltener der 3. Reihe mit in den Arbeitsprozess einbezogen. Die Haarzellen-Kerne arbeiteten hintereinander in Kolonnen.

Bei den Tieren, die dem Umweltlärm von 30-70 dB(A) ausgesetzt waren, traten die Kerne der einzelnen Kolonnen hintereinander in Aktion. Zunächst begann der Kern der innersten Reihe mit der Abgabe seiner Nukleolarsubstanz, die beiden Restlichen folgten.

Bei Meerschweinchen mit Reintonbeschallung zeigte sich im betroffenen Bereich, der einen relativ großen Schneckenschnitt einnahm, bei Lautstärken unter 100 dB ein dem Umweltlärm ähnliches Bild.

Bei Lautstärken über 100 dB(A) waren die Kernveränderungen häufiger. Dort fand sich neben den deutlich veränderten Kernen, die vorwiegend in der 1. Reihe gelegen waren, eine Aktivierung des Stoffwechsels im gereizten Schneckenschnitt.

Die Kernkolonnen arbeiteten jetzt gleichsinnig, oft zu mehreren nebeneinander.

Bei kurzer Beschallungsdauer wurde zunächst die Erst- und Mehrbeanspruchung der 1. Reihe der Haarzellen deutlich.

Bei Überleben der Tiere bildeten sich die Veränderungen fast völlig zurück. Ab einer Überlebensdauer von 3 Tagen bestanden nur noch Kernveränderungen in der 1. Reihe.

Die Stärke der Veränderungen war bei sämtlichen untersuchten Tieren im Wesentlichen seitengleich.

Bei Überbelastungen fanden sich in der 1. Reihe die ersten Kernveränderungen sowie nach Überleben der Tiere die Residuen in Form von Kernlücken.

Die Lokalisation der Schrumpf- und Schwellkerne war nach Reintonbeschallung hoher Intensität im Groben und vor allem im Feinen sehr variabel. Eine strenge Frequenzspezifität ist daher nicht gegeben.

Wahrscheinlich ist für jede Frequenz eine größere Zahl von äußeren Haarzellen zuständig und andererseits kann die gleiche Zelle von verschiedenen benachbarten Frequenzen zur Erregung gebracht werden.

Unter physiologischer Belastung ist eine Störung des geregelten Funktionsablaufs nicht zu erwarten, da das Cortische Organ immer über genügend Reserven verfügt.

Anders ist es bei überphysiologischen Reizen. Hier wird sofort eine große Anzahl von Zellen beansprucht. Die Folgen dieses massiven Reizes sind eine langsame Abnahme von sichtbarem Eiweiß und RNA in den Kernen sowie die Veränderungen Einzelner von ihnen im Sinne einer Schrumpfung oder Schwellung.

Die Folge ist die Herabsetzung der Hörschwelle (Beck, 1956).

Bei der Beschallung von 50 Meerschweinchen mit einem Reinton von 3000 Hz mit einer Lautstärke von 20 dB über eine Viertel- bis zu einer Stunde war im Spitzenbereich der Kerne der äußeren Haarzellen ein Stoffaustausch selten zu beobachten, wo hingegen er in den unteren Teilen an Häufigkeit zunahm, um an der Basalwindung sein Maximum zu erreichen.

Im Gegensatz zu den äußeren Haarzellen gaben die der inneren über alle Windungsabschnitte ein völlig gleichförmiges Bild. Ein Stoffaustausch zwischen Kern und Plasma war ebenfalls nachweisbar, aber spärlicher und weniger deutlich.

Nach 15-minütiger Beschallung ergab sich keine morphologisch sicher fassbare Schädigung.

Nach 30 Minuten fanden sich im Frequenzsektor um 3000 Hz deutliche Zeichen von Kernschrumpfung und -schwellung. Der Austausch zwischen Kern und Plasma an den Nachbarzellen war vermindert.

Bei Beschallungsdauer von 1 Stunde sah man jetzt im geschädigten Bereich, vom letzten Drittel der Basalwindung bis zur Mitte der 2. Windung, reichlich Schrumpf- und Schwellkerne. Dabei waren

vorwiegend die Kerne der inneren Reihe der äußeren Haarzellen betroffen. Der Austausch zwischen Kern und Plasma war auf die Hälfte herabgesetzt und in Umgebung der schwer geschädigten Kerne fanden sich vorwiegend reine Chromatinkerne. Eine Abgabe der Nukleolarsubstanz in Form großer nucleolarer Blasen fand nicht mehr statt.

Am fünften Tag nach Beschallung waren die Veränderungen der Kerne nicht mehr sichtbar. Nur im Bereich der stärksten Schädigung an der inneren Reihe der äußeren Haarzellen fehlten hier und da 1-3 Kerne, es waren Kernlücken entstanden.

Plasmaschädigungen oder Schäden an den inneren Haarzellen konnten nicht festgestellt werden.

Eine bleibende Höreinschränkung ist daher nicht zu erwarten, zumal von einer Frequenz immer ein relativ großer Schneckenabschnitt erregt wird (Beck, 1957).

Auch bei einer dosierten Impulsbeschallung konnte Beck folgende Beobachtungen machen (Beck, 1960):

Ausgehend von einem konstanten Schalldruck von 50 dB zu Beginn erfolgte eine Belastung des Ohres der Meerschweinchen mit je 5 Impulsen von 1,3 s Dauer. Während dieser Impulsfolge wurde ein Schalldruck von 60-110 dB, ansteigend in Stufen von 10 dB(A) dargeboten.

Bei kurzen Beschallungszeiten unterhalb einer Lautstärke von 80 dB wurden keine morphologischen Reaktionen nachgewiesen. Unter physiologischen Bedingungen liefen demnach die Stoffwechselforgänge in der Schnecke so schnell ab, dass sie nur in der Beschallung als Momentaufnahme morphologisch erfasst werden konnten. Daher musste mit Intensitäten gearbeitet werden, die im kritischen Bereich der Aussteuerungskurve liegen.

Beidseits wurde nun den Meerschweinchen Impulsschall mit den Frequenzen 500,1000,1600 und 3200 Hz direkt auf die Trommelfelle gegeben. Während der Beschallungszeiten, die zwischen 28 s und 10 min lagen, erreichte der Schall Werte zwischen 80 und 110 dB.

Sämtliche Tiere wurden nach Versuchsende dekapitiert und ihre Schnecken histologisch untersucht.

Als erstes signifikantes Zeichen einer reversiblen Funktionsminderung fand sich an den äußeren Haarzellen des Cortischen Organs eine Abnahme von Eiweiß und RNA im Plasma. Außerdem fanden sich an den Zellen der Stria vascularis und im Ganglion spirale Kernreaktionen und eine Abnahme von Eiweiß und RNA.

Bei stärkerer Belastung zeigten sich deutlichere Stoffwechselstörungen an den Strukturen der Schnecke mit schweren Zellveränderungen der äußeren Haarzellen. Die Rückkehr zur normalen Funktion war stark verzögert.

Faktoren für die Veränderungen nach Beschallung waren Intensität, Frequenz, Beschallungszeit und individuelle Empfindlichkeit.

Als weiterer Befund ließen sich auf der Basalmembran neben dem ergriffenen Sektor entsprechend der Grundfrequenz weitere Areale feststellen, in denen die äußeren Haarzellen eine deutliche Abnahme von Eiweiß und RNA zeigten. Diese Zellreaktionen, die jedoch erst bei starken Intensitäten der Grundfrequenz auftraten, waren im Ansprechgebiet der jeweiligen Harmonics gelegen.

Am empfindlichsten erschienen die äußeren Haarzellen, wobei den Veränderungen der Stria vascularis eine entscheidende Rolle zuzuordnen ist. Durch ihre Störung kam es zur mangelnden Versorgung der Sinneszellen, die dann nicht mehr in der Lage waren, der aufgrund der vermehrten Belastung erforderlichen Stoffwechselsteigerung nachzukommen (Beck, 1960).

## **1.5 Innenohrerkrankungen**

### **1.5.1 Akutes Schalltrauma**

#### **(Knalltrauma, Explosionstrauma, akutes Lärmtrauma, akustischer Unfall)**

Das „akute“ akustische Trauma ist als Unfallschaden vom „chronischen“ akustischen Trauma als Berufskrankheit abzugrenzen.

Der sog. „akustische Unfall“ oder auch das akute Lärmtrauma stellt eine vierte Art der Gehörschädigung neben dem Explosions-, Knall- und dem chronischen Lärmtrauma dar.

Boenninghaus hat das akute akustische Trauma durch Berufslärm sehr klar definiert und folgende Symptome gefordert (Boenninghaus, 1962):

1. Die Hörstörung muss innerhalb kurzer Zeit während einer Lärmexposition aufgetreten sein.
2. Die Hörstörung muss durch eine Wannenbildung oder einen Flachverlauf der Hörschwellenkurve im Tonaudiogramm bei pos. Recruitment gekennzeichnet sein.
3. Die Hörstörung muss ohne vestibulären Schwindelanfall auftreten.
4. Während der Zeit der Entstehung der Hörstörung müssen sich Anhaltspunkte für eine vorübergehende Fehlbelastung der Halswirbelsäule mit der Folge einer Durchblutungsstörung des Innenohres ergeben.
5. Der Lärm muss bei Auftreten der akuten Hörstörung so stark sein, dass eine Schädigung der Sinneszellen erfahrungsgemäß möglich ist.
6. Die Hörstörung geht stets mit subjektiven Ohrgeräuschen einher.
7. Die Hörstörung erweist sich meistens als fast vollständig irreversibel.

Bei den Untersuchungen von Dieroff 1963 an 2500 Lärmarbeitern wurden nur zwei Fälle beobachtet, die vorwiegend über die Boenninghaus'schen Symptome klagten. Dabei handelte es sich zweifellos um echte Menièresche Anfälle mit typischen einseitigen Hörstörungen und vestibulären Erscheinungen.

Das Hörbild als solches ist bei akustischen Traumen in keiner Weise im Einzelfall immer konstant. Im Durchschnitt findet man aber den größten Hörverlust bei bleibenden Schäden um 4000 Hz, wohingegen bei vorübergehenden Hörstörungen das Maximum meist etwa  $\frac{1}{2}$  bis 1 Oktave oberhalb der Energiespitze liegt.

Es fand sich bei Dieroff keine Häufung von plötzlichen Hörstürzen oder Menièreartigen Symptomen bei Lärmgeschädigten (Dieroff, 1963).

Die chronische Lärmschädigung entsteht nicht auf mechanischem Weg, sondern eine hypoxydotische Stoffwechsellerschöpfung lässt die Innenohrelemente degenerieren. Die reversible Schwellenabwanderung bei 4000 Hz nach Geräuschbelastung geht mit einem Recruitment-Äquivalent einher.

Die reversible Schwellenabwanderung bei 4000 Hz ist umso geringer, je schwerhöriger der Proband ist.

Dementsprechend wird auch der bleibende Hörverlust eines Lärmarbeiters pro Jahr umso weniger zunehmen, je größer die bereits bestehende Lärmschwerhörigkeit ist. Nach 10 Jahren scheint für jede Lärmintensität eine gewisse Hörverlust-„Sättigung“ erreicht zu sein. Die dann folgende Hörverschlechterung ist nicht größer als der physiologische Altershörverlust.

Das Maximum des lärmbedingten Hörverlustes zwischen 4000 und 6000 Hz scheint um so mehr zu den höheren Frequenzen hin zu liegen, je größer die Lärmintensität ist.

Für das akute Schalltrauma gelten weiterhin die mechanischen Vorstellungen der Schädigung.

Bei der Lärmschwerhörigkeit bleibt die hypoxämische Stoffwechsellerschöpfung nach Aufhören der Lärmbelastung stationär, beim akuten Trauma hingegen kann die mechanische Zerstörung der Innenohrelemente progredient sein.

Während der Schalltransformation ist das Innenohr gegen O<sub>2</sub>-Mangel besonders empfindlich. Die akustische Belastung des Innenohres führt in der Stria vascularis zu Durchblutungsstörungen und damit zu einem Abfall der O<sub>2</sub>-Abgabe an die Endolymphe, aus der die Haarzellen ihren Sauerstoff beziehen. Ihr Bedarf ist während der Schalltransformation sehr groß.

Die Schwellenabwanderung ist abhängig von der Belastungslautstärke. Die Schwellenabwanderung bei 4000 Hz ist abhängig von der Frequenzbreite des Belastungsgeräusches. Bei gleichem Schalldruck beeinträchtigt ein Breitbandgeräusch die Hörschwelle weniger als ein Schmalbandgeräusch und je schmaler das Bandgeräusch ist, umso größer wird die Schwellenabwanderung.

Die Schwellenabwanderung nimmt mit dem Logarithmus der Belastungszeit zu.

Das Ausmaß der Schwellenabwanderung ist abhängig von der Ruhehörschwelle.

Die Rückbildung der Schwellenabwanderung verläuft zweiphasig. Die erste Phase dauert nur 2 min, ihr Zeitgang ist abhängig von der Intensität und der Dauer. In der zweiten Phase bildet sich die Schwellenabwanderung unabhängig von der vorausgegangenen Belastungslautstärke und -dauer mit dem Logarithmus der Zeit zurück.

Die Geschwindigkeit der Rückbildung ist frequenzunabhängig.

Frauen sind lärmfester als Männer und sie hören auch ganz allgemein besser. Auch nicht-lärmbedingte Innenohrschäden kommen bei ihnen weniger häufig vor.

Die Schwerhörigkeit durch Lärm wird zuerst durch ein reversibles Vertäubungsgefühl bemerkt. Diese Vertäubung ist anfangs so groß wie der bleibende Hörverlust nach zehnjähriger Tätigkeit im gleichen Lärm.

Im Sprachaudiogramm fällt der Lärmschwerhörige durch ein im Vergleich zur Reintonschwelle relativ gutes Gehör auf, im Gegensatz zu Altersschwerhörigen, der mit einem oft noch recht guten Reintongehör die Sprache unverhältnismäßig schlecht versteht.

Mit einer Besserung des Gehörs nach einem Knall- bzw. Explosionstrauma ist nur innerhalb der ersten 3 Monate zu rechnen (Lehnhardt, 1963).

### **1.5.2 Chronisches Schalltrauma (Lärmschwerhörigkeit, Bewertung der Lärmexposition, Technik der Lärmmessung)**

Das *Recruitment* (engl., Lautheitsausgleich) ist ein psychoakustisches Phänomen bei Erkrankungen im Innenohr. Die äußeren Haarzellen des Innenohrs können geringen (leisen) Schall verstärken und starken (lauten) Schall dämpfen. So kann der gut Hörende wegen der schallverstärkenden Wirkung auch leise Töne wahrnehmen und empfindet andererseits laute Geräusche nicht so schnell als sehr laut und unangenehm. Die Schädigung oder der Ausfall dieser Sinneszellen bewirkt einerseits wegen Wegfalls der Verstärkung einen Hörverlust bei geringem Schall mit Anstieg der Hörschwelle, andererseits wegen des Wegfalls der Dämpfung bei starkem Schall, dass laute Töne schneller als laut und unbehaglich wahrgenommen werden. Der somit schnellere Lautheitsanstieg im verbliebenen Hörbereich zwischen der Hörschwelle und der Unbehaglichkeitsschwelle wird als „Lautheitsausgleich“ oder Recruitment bezeichnet.

Generell ist der vorübergehende Hörverlust [noise-induced temporary threshold shift (NITTS)] von einem dauerhaften Hörverlust [noise-induced permanent threshold shift (NIPTS)] abzugrenzen.

1. Wenn keine vorübergehende Hörschwellenverschiebung auftaucht, wird es auch keine permanente Hörschwellenverschiebung geben.
2. Wenn die Hörschwellenkurve in Ruhe angehoben ist, wird die TTS weniger groß ausfallen.
3. Eine spezifische Lärmexposition (Level und Dauer) wird einen spezifischen dauerhaften Hörschaden verursachen.
4. Das Fortschreiten der permanenten Hörschwellenverschiebung ist ähnlich der temporären, aber mit einer anderen Zeitskala.

5. Die Exposition von einem Tag gegenüber Lärmlevels von 100 dB oder mehr variieren in der TTS von keiner Verschiebung bis zu einer Verschiebung von 40 dB.
6. Exposition gegenüber typischem industriellem Lärm verursacht die größte vorübergehende Hörschwellenverschiebung zwischen 3000 und 6000 Hz.
7. Die größte Verschiebung ereignet sich in den ersten 1-2 Stunden der Exposition.
8. Der Grad der TTS für ein Individuum ist der gleiche von Tag zu Tag bei dieser Person, aber er variiert von Person zu Person.
9. Der Grad der TTS verändert sich mit dem Ausmaß und der Lokalisation der Frequenz des PTS. Je mehr PTS bei einer Frequenz, desto weniger TTS bei dieser Frequenz.
10. Die Rückbildung der TTS erfolgt in den ersten beiden Stunden nach Exposition.
11. Der Hörverlust, der durch eine lange Einwirkung eines spezifischen Lärms verursacht wird, wird nicht größer sein, als der Hörverlust, der durch den gleichen Lärm nach kurzer Exposition entsteht.
12. Die Konfiguration des Audiogramms, die bei einer bestehenden TTS gemessen wird, wird sich nicht unterscheiden von einem Audiogramm, das von einer PTS verursacht wird.
13. Eine PTS verursacht einen Innenohrschaden, der von kleinen Veränderungen in den Haarzellen bis zur kompletten Zerstörung des Cortischen Organs reicht.
14. Durch eine Stimulation durch Lärm über lange Zeiträume wird eine metabolische Reaktion in den Zellen ausgelöst, die den degenerativen Verlust der Zellstruktur bewirkt.
15. Der Hörverlust wird in der Regel erst bemerkt, wenn er bei den Sprachfrequenzen 500, 1000 und 2000 Hz 25 dB oder mehr erreicht hat.
16. Die Entstehung des lärminduzierten Hörverlustes ist sehr langsam und die Jahre der Lärmexposition mögen schon vorbei sein, bevor ein Hörverlust erst bemerkt wird.
17. Die Verdopplung der Energie des Lärms bedeutet nicht gleichzeitig eine Verdopplung des Hörverlustes.



18. Zur Ausprägung eines Hörverlustes gehören viele Faktoren, wie der Lärmtyp, der Grad der intermittierenden Exposition, die Dauer und die Häufigkeit des Gebrauchs von Gehörschutzmitteln.

Dieroff untersuchte die Beziehung zwischen Hörermüdung und bleibendem Hörschaden nach Lärmeinwirkungen (Dieroff, 1959).

Bei 15 Maschinisten, die an einem sehr lauten Arbeitsplatz (110-126 DIN-Phon) arbeiteten, wurde die Lärmfestigkeit mittels versch. Hörbelastungstests nach Peyser, van Dishoeck, Carhart und Feldmann bestimmt. Außerdem wurden der Adaptationsrückstand und die Hörermüdung mittels Verdeckungsmessungen ermittelt.

Bei den bereits geschädigten Personen zeigte sich im Durchschnitt keine wesentlich erhöhte Hörermüdung. Daher sind Hörbelastungstests nicht zu empfehlen. Zurzeit bieten nur audiometrische Einstellungs- und laufende Kontrolluntersuchungen die Gewähr, Lärmarbeiter vor größeren Hörschäden zu bewahren.

Einige Lärmarbeiter zeigten nach 1 Stunde Geräuschbelastung eine größere Hörschwellenverschiebung als nach 5 Stunden. Bereits in der 1. Stunde nach Belastungsbeginn tritt die wesentliche Schwellenverschiebung ein, in den weiteren 4 Stunden nimmt der Adaptationsrückstand kaum über weitere 5 dB zu.

Laut einer Studie von Glorig verursacht kontinuierlicher Lärm mit einem SPL von weniger als 80 dB keine signifikante TTS (Glorig, 1961 und 1973).

Erkenntnisse aus Daten von einigen Arbeitern der Studie, die Industrielärm mehr als 5 Stunden am Tag, 5 Tage die Woche für mehr als 35 Jahre ausgesetzt waren:

1. Der größte Hörschaden zeigt sich nach 10-12 Jahren unabhängig von dem Expositionslevel.
2. Die Hörschwelle verschiebt sich zwar nach 10 Jahren immer noch, aber sie verläuft dann parallel mit der Presbyakusis-Hörschwelle.
3. Jeder Lärmpegel verursacht einen spezifischen Schaden am Ohr.
4. Bei einer Exposition von 79 dB ist ein etwas größerer Hörverlust zu erkennen als bei der altersentsprechenden Normalbevölkerung.

Diese Erkenntnisse können nicht auf eine andere Frequenz als 4000 Hz bezogen werden und gelten auch nicht bei vorübergehenden Hörschwellenverschiebungen, die 50 dB überschreiten.

Da die Hörverluste bei 4000 Hz unser Sprachverständnis nicht beeinträchtigen, werden die Risikokriterien für einen Hörschaden für 2000 Hz festgelegt.

Die Lärmexposition konnte bei Glogig in 3 verschiedenen Arten eingeteilt werden:

1. kontinuierlicher Lärm für 5 Stunden oder länger pro Tag, 5 Tage die Woche über viele Jahre
2. kontinuierlicher Lärm für weniger als 5 Stunden pro Tag, 5 Tage die Woche über viele Jahre und
3. Lärm, der intermittierend gehört wird, während 5 Tage die Woche über viele Jahre.

Intermittierender Lärm war so festgelegt, dass sich „on“ und „off“ Zeiten abwechseln. In den Off-Zeiten lag der Lärmpegel unter 85 dB und während der On-Zeiten über 85 dB.

Ein Lärmpegel von 80 dB bei 1200-2400 Hz über einen Zeitraum von 10 Jahren würde demnach eine moderate Hörschwellenverschiebung bei 4000 Hz produzieren.

Wenn bei einem kurzen kontinuierlichen Lärm nicht mehr als 12 dB TTS bei 2000 Hz erreicht werden, resultiert daraus kein signifikanter permanenter Hörverlust nach 10 Jahren.

Wenn bei intermittierendem Lärm die TTS verschwunden ist, bevor das Ohr wieder dem Lärm ausgesetzt wird, resultiert daraus ebenso keine signifikante PTS über einen Zeitraum von einem ganzen Arbeitsleben.

Der Verlauf einer Lärmschwerhörigkeit ist schwer zu beurteilen, da der Hörverlust individuell sehr verschieden ist und damit eine große Anzahl von Untersuchungen nötig ist, um eine statistische Aussagekraft zu erlangen.

Außerdem nimmt eine Lärmschwerhörigkeit langsam zu und es entwickelt sich im Alter zusätzlich eine Altersschwerhörigkeit, die oft nicht von der Lärmschwerhörigkeit zu trennen ist. Auch die außerberufliche Lärmexposition ist schwer zu bestimmen.

Die meisten Aussagen über Lärmschwerhörigkeit beruhen auf Querschnittsuntersuchungen. Um aber den zeitlichen Verlauf der Lärmschwerhörigkeit korrekt zu beurteilen, bedarf es Längsschnittuntersuchungen, wie schon Wagemann (1966) betonte.

Dieroff untersuchte 1961 794 Arbeiter, die einen phasenhaften Ablauf der Lärmschwerhörigkeit zeigten (Dieroff, 1961). Er unterschied eine Phase der Anpassung, der besten Verträglichkeit, eine Phase des Zusammenbruchs und eine Phase der Sättigung. Die Phase des Zusammenbruchs dauerte bei dem untersuchten Schallpegel von 105 bis 115 dB vom 4. bis zum 9. bzw. 12. Lärmarbeitsjahr. In der folgenden Phase der Sättigung nahm der Hörverlust in den Frequenzen 4000, 6000 und 8000 Hz nur noch unwesentlich zu. Die Phase der besten Verträglichkeit verlängerte sich seiner Meinung nach bei geringeren Lärmintensitäten.

Bei der Studie von Irion und Legler 1976 wurden 580 Arbeitnehmer eines Steinkohlenkraftwerkes ton- und sprachaudiometrisch nach einer Lärmpause von mind. 30 min untersucht (Irion und Legler, 1976).

147 Arbeiter wurden wegen Schalleitungsstörungen oder vorwiegend nicht lärmbedingter Innenohrschwerhörigkeit nicht erfasst.

Die Gruppe, die einem Beurteilungspegel von 65 bis 75 dB(A) ausgesetzt ist, zeigte einen signifikant größeren Hörverlust als die Gruppe der Verwaltungsangestellten.

Leider wurde in den Untersuchungen ein systematischer Fehler begangen, indem 1969 zu schnell audiometriert wurde. Durch schnelles Erhöhen der Intensität über die Hörschwelle hinaus ergab sich ein scheinbar größerer Hörverlust, sodass die Aussagekraft der Ergebnisse in Zweifel zu ziehen ist.

Je länger die Lärmexposition, desto geringer die scheinbare Hörverlustminderung bzw. desto größer die tatsächliche Zunahme des Hörverlustes bei  $c^5$  in dem beobachteten Zeitraum von 2 Jahren.

Es zeigte sich eine deutliche Abhängigkeit des Hörverlustes von der Intensität der Lärmexposition.

In dem von Irion und Legler beobachteten Zeitraum von 2 Jahren nahm der lärmbedingte Hörverlust mehr zu, wenn die Lärmexposition vor Beginn der Untersuchung länger als 10 bzw. 20 Jahre gedauert hatte. Es fand sich keinerlei Anhalt für eine Stagnation des Hörverlustes.

Boenninghaus wies schon 1965 darauf hin, dass eine Stagnation des lärmbedingten Hörverlustes bei 4000 Hz nach 10 Jahren nur bei Schallpegeln von 105 dB(A) gelte. Bei niedrigeren Schallpegeln sei weiterhin mit einem Abfall der Hörschwelle bei 4000 Hz zu rechnen (Boenninghaus, 1965).

Die Ergebnisse der Längsschnittuntersuchung von Irion und Legler weisen auf ein Fortschreiten der Hörverlustzunahme bei 4000 Hz auch bei über 20-jähriger Lärmexposition hin.

Bei niedrigeren, für das Sprachverständnis bedeutenden Frequenzen ist das Fortschreiten des Hörverlustes über das 20. Lärmarbeitsjahr hinaus erwiesen.

Von einer Stagnation der Lärmschwerhörigkeit nach einer bestimmten Anzahl von Jahren kann man nach dem gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse nicht mehr ausgehen.

Je niedriger der Schallpegel der Lärmexposition, desto länger muss mit einer Hörverlustzunahme gerechnet werden. Die größere Bedeutung des Zeitfaktors bei Pegeln unterhalb der kritischen Intensität wurde bereits 1966 von Wagemann betont (Wagemann, 1966).

### **1.5.3 Akute Hörstörung (z.B. Hörsturz)**

Unter einem *Hörsturz* versteht man eine ohne erkennbare Ursache plötzlich auftretende, meist einseitige Schallempfindungsschwerhörigkeit oder Ertaubung. Gleichzeitig können Ohrgeräusche (90 %) und/oder Druckgefühl im Ohr (50 %) und/oder subjektiver Schwindel (30 %) und/oder Diplakusis

(25 %) bestehen. Als Prodromalsymptomatik ist ein pelziges Gefühl um die Ohrmuschel, ein ungerichteter Schwindel und eine Hyperakusis beschrieben worden.

Die Diagnose Hörsturz ist eine Ausschlussdiagnose. Man unterscheidet isolierte Hörausfälle im Tief- (35 %), Mittel- (5 %) und Hochfrequenzbereich (50 %) sowie pancochleäre (10 %), partielle oder komplette Hörverluste.

Als Ursachen werden ein Perilymphüberdruck, eine Ruptur eines Schneckfensters, toxisch-medikamentöse und toxisch-infektiöse Ursachen, Knall-, Schädel- oder Schleudertraumata angenommen. Noch diskutiert werden als Ursachen Mikroembolien, Thrombozytenaggregationen, lokale Immunpathomechanismen, Störungen im Lipidstoffwechsel, psycho-emotionale Belastungen, fokalt-toxische oder allergische Einflüsse und basiliäre Impressionen. Eine Spontanremission ist häufig, aber nicht voraussagbar. Wenn diese nicht eintritt, können ein bleibender Hörschaden und/oder ein Tinnitus zurückbleiben.

#### **1.5.4 Toxische Schäden**

Ein durch Streptomycin und Dihydrostreptomycin verursachter Hörverlust tritt gewöhnlich mit einer langen Latenzzeit auf und wird langsam schlimmer, wenn die Behandlung fortgesetzt wird.

Die hohen Frequenzen sind dabei zumeist betroffen, oftmals kombiniert mit einem hochtonigen Tinnitus.

Kanamycin oder Neomycin führen zu einem schnellen und gravierenden Hörverlust. Der Schaden an der Cochlea ist dabei irreversibel.

Frühere ototoxische medikamentöse Behandlungen sensibilisieren das Cortische Organ, sodass es bei erneuter Anwendung schneller zu Schäden kommt. Lärm führt ebenfalls zu solch einer Sensibilisierung.

Ein ototoxisch verursachter Hörverlust unterscheidet sich nicht von einem lärminduzierten Hörverlust. Bei beiden findet sich keine charakteristische Läsion der Cochlea. Es gestaltet sich daher schwierig, aus einem Audiogramm eine Aussage über die genaue Ursache der Hörstörung zu treffen (Glorig, 1973).

#### **1.5.5 Schwindelerkrankungen**

Unter Schwindel im medizinischen Sinne versteht man das subjektive Empfinden eines Drehgefühls oder Schwankens oder das Gefühl der drohenden Bewusstlosigkeit. Definiert wird Schwindel im medizinischen Sinne als wahrgenommene Scheinbewegung zwischen sich und der Umwelt. Man unterscheidet u. a. Dreh-, Schwank-, Lift-, Bewegungs- und unsystematischen Schwindel. Außerdem wird eine Kreislaufschwäche oft Schwindel genannt.

Schwindel entsteht häufig aus widersprüchlichen Informationen von am Gleichgewichtsempfinden beteiligten Sinnesorganen wie Augen, Gleichgewichtsorganen der Innenohren sowie Muskel- und Gelenkrezeptoren.

Das Gleichgewichtsorgan im Innenohr ist ein Sensorium für Dreh- und Linearbeschleunigung und eng mit Reflexen verbunden.

Eine Linearbeschleunigung wird in den in horizontaler und vertikaler Ebene stehenden Maculae sacculi und utriculi registriert. Die Sinneshaare dieser Rezeptoren sind in eine durch Kristallkörnchen, sog. Otolithen, beschwerte Matrix eingebettet. Bei Beschleunigung in der Ebene der Macula bleibt diese aufgrund ihrer Trägheit zurück und führt zu einer Auslenkung der Sinneshaare. Durch die Erdbeschleunigung kann mit diesen Rezeptoren auch die Lage des Kopfes im Raum bestimmt werden. Drehbeschleunigungen werden von den Bogengängen registriert – jeweils 3 miteinander verbundene, senkrecht zueinander stehende, ringförmige Gefäße mit Lymphflüssigkeit und Sinneshaaren. Durch eine Drehbeschleunigung in der Ebene des jeweiligen Bogenganges wird die Endolymphflüssigkeit in Bewegung gesetzt und lenkt die Sinneshaare aus. Bei länger anhaltenden Drehbewegungen „gewöhnt“ man sich an diese, sobald sich die Lymphe durch Reibung ebenso dreht wie der Bogengang.

Beim Stopp der Drehbewegung rotiert die Flüssigkeit weiter und ruft den Eindruck einer entgegengesetzten Drehung hervor. Die reflektorische Reaktion darauf kann nicht unterdrückt werden, auch wenn das Auge die wahre Bewegung zeigt. Der Widerspruch der Sinnesorgane erzeugt Verwirrung oder Desorientierung.

Erkrankungen des Gleichgewichtssystems (peripher: Innenohr + Gleichgewichtsnerv / zentral: Hirnstamm + Kleinhirn + Großhirn) können Ursache für Schwindelempfindungen sein: vestibulärer Schwindel. Oft wird Schwindel begleitet von vegetativen Reaktionen des Körpers wie Übelkeit, Erbrechen, Schweißausbruch, Herzbeschleunigung und Kollaps. Am häufigsten tritt der benigne paroxysmale Lagerungsschwindel auf, darauf folgen in ihrer Häufigkeit abnehmend Erkrankungen des Innenohres (Vestibulopathien), Morbus Menière, Entzündungen des Gleichgewichtsnerven (Neuropathia vestibularis), seltener auch Durchblutungsstörungen (Kleinhirninfrakte), Tumoren (Akustikusneurinom), mechanische Schädigungen (traumatischer Labyrinthausfall bei Felsenbeinfraktur).

## **1.6 Pathologie des akustischen Traumas**

Das morphologische Substrat des schalltraumatischen Innenohrschadens ist eine Degeneration des Cortischen Organs mit nachfolgender Degeneration von Nervenfasern und Ganglienzellen im Ganglion spirale cochleae.

Lärm ab einer Lautstärke von 85-90 dB(A) kann eine Schädigung der Strukturen der Cochlea verursachen, wobei der Grad der Schädigung von der Dauer der Einwirkung und dem Grad der

Lautstärke abhängt. Die Schäden, die als metabolisch bezeichnet werden können, beginnen an der Basalwindung und schreiten spitzenwärts fort. Dieser Ablauf ist immer beim chronischen Lärmtrauma zu beobachten.

Bei langer beruflicher Lärmexposition können sich die betroffenen Areale in der Cochlea zur Schneckenspitze hin ausdehnen, sodass im Spätstadium eine Innenohrschwerhörigkeit über alle Frequenzen besteht.

Bei mechanischen Schädigungen in der Cochlea durch Schall müssen die hierzu notwendigen Lautstärken sicher über 115 dB(A) liegen. Dann sieht man eine umschriebene Schädigung des Cortischen Organs am Übergang von der ersten zur zweiten Schneckenwindung, die nur zum Teil reversibel ist. Sie entspricht der sog. C<sub>5</sub>-Senke (4 kHz).

Bei sehr hohen Lautstärken kommt es vom Zentrum der Schadenszone nach beiden Richtungen graduell abnehmend zu einem vollständigen Verlust des Cortischen Organs, zu Rupturen der Zellmembran, zu Distorsionen und Schwellungen der Sinneszellen und auch zum Teil der Stützzellen. Im Zentrum der Schadenszone werden auch primäre Risse in der Basilarmembran sowie Rupturen in der Stria vascularis beobachtet.

Die Blutversorgung der Cochlea ist bei Lautstärken über 90 dB(A) wesentlich vermindert (Beck, 1984).

Diese Art von Verletzungen tritt häufig bei Sportlern auf, die z. B. Biathlon oder Sportschießen ausüben. Das dabei mögliche akustische Trauma ist meistens ein Knalltrauma mit einem Schalldruckpegel von > 150 dB mit einer sehr kurzen Expositionsdauer von 2 ms. Der Schaden ist meist einseitig, bedingt einen Hörverlust bei 4000 Hz (C<sub>5</sub>-Senke), ist wenig progredient und kann sich auch wieder zurückbilden. Wie stark ausgeprägt ein Knalltrauma ist, hängt von der Intensität, der Dauer der Schallenergie und vom Abstand des Menschen von der Schallquelle ab. Bei Schusswaffen kommen noch die Kaliberstärke und die akustische Beschaffenheit der Umgebung dazu (Richter, Spahn).

Die *Mittelohrmuskeln* führen über eine Impedanzänderung zur Intensitätsabschwächung eingehender akustischer Signale. Dadurch wird ein systemischer Protektionsmechanismus ausgelöst.

Die Mittelohrmuskulatur nimmt durch ihre Kontraktion bei Geräuschbelastung Einfluss auf die Stelle des größten Hörverlustes. Sie verschieben das Empfindlichkeitsmaximum des Ohres um etwa eine halbe Oktave zu den höheren Frequenzen hin und beeinflussen somit die Empfindlichkeitskurve des Ohres unmittelbar. Wahrscheinlich kommt es durch den gleichen Effekt zur Lärmsenke eben nicht bei 3000 Hz, sondern erst bei 4000 Hz, wodurch der Sprachbereich zunächst verschont bleibt. Darin ist ein Schutzvorgang zu sehen, der über die reine Dämpfungswirkung der Mittelohrmuskulatur im unteren Frequenzbereich hinausgeht (Fletcher et al., 1959).

Zur *Regeneration* des Gehörs nach Lärmexposition gehört unbedingt die Einhaltung einer täglichen Erholungszeit des Gehörs von mind. 10 Stunden mit einem Schalldruckpegel von deutlich unter 70 dB(A). Diese Erholungszeit ist nicht gegeben, wenn das Ohr in der Freizeit zusätzlich Lärm in Form

von Diskothekenbesuchen, bei denen Mittelungspegel zwischen 92 und 111 dB(A) gemessen werden, Kopfhörern, die einen Maximalpegel von bis zu 120 dB(A) erreichen, Autoradios, Open-Air-Konzerten etc. ausgesetzt ist.

Auch Schießsport, Kinderspielzeug und Feuerwerkskörper erreichen ganz beträchtliche gehörgefährdende Schallpegel bis zu 175 dB(A).

Bei *Reparatur* handelt es sich um die Erholung reversibel geschädigter, aber überlebender Zellen, während Regeneration die Neubildung irreversibel geschädigter und durch Zelltod verloren gegangener Zellen meint. Die Regeneration ist normalerweise in der Cochlea nicht zu beobachten, aber es finden sich Hinweise für Reparaturprozesse nach Lärmtrauma. So etwa die Reparatur von Stereozilien, Stützzellen und synaptischen Reparaturprozessen. Dabei werden synaptische Komplexe neu formiert, was einen Grund liefern könnte für die Erholung temporärer Schwellenabwanderungen (TTS) (Plontke und Zenner, 2004).

## 1.7 Faktoren der Lärmschwerhörigkeit

Faktoren, die zu einer Lärmschwerhörigkeit führen, sind Lautstärke, Frequenzzusammensetzung, Dauer, unterschiedliche Empfindlichkeit zwischen Mittel- und Innenohr und die individuelle Lärmempfindlichkeit. Bezüglich der Frequenzzusammensetzung des Lärmes ist zu sagen, dass die Schädigung bei einem reinen Ton bei der Frequenz des Tones liegt, während bei einem Schmalbandgeräusch der Frequenzbereich  $\frac{1}{2}$  Oktave oberhalb des Geräusches geschädigt wird. Hohe Frequenzen sind generell für das Ohr schädlicher als tiefe.

Das Verhältnis Schädigung zu Dauer ist keine lineare Beziehung. Bei hohen Frequenzen wird eine Sättigung erreicht (Glorig, 1973). Dauerschall ist schädlicher als die Belastung, der Musiker ausgesetzt sind, da sie während Proben und Konzerten immer wieder Pausen haben, in denen sich das Gehör erholen kann. Impulslärm schädigt das Gehör mehr als Dauerlärm. Dies gilt jedoch nur für Pegel  $> 115$  dB (A) (Schwetz, 1992).

Einfache Schalldauer + Intensität bedeutet die gleiche Schädigung wie 2x Schalldauer +  $\frac{1}{2}$  Intensität. Lärm schadet nicht den Gehörknöchelchen im Mittelohr, sondern schädigt vor allem die äußeren Haarzellen im Innenohr. Dabei ist vor allem die mittlere Reihe der Sinneszellen am meisten betroffen (Lehnhard, 1972).

Bei Breitbandgeräuschen befindet sich die Schädigung bei 4 kHz, bei toxischen Schädigungen des Ohres liegt sie bei 8 kHz.

## 1.8 Berufskrankheit Lärmschwerhörigkeit

Die Diagnose einer berufsbedingten Lärmschwerhörigkeit als Berufskrankheit nach Ziffer 2301 kann unter folgenden Bedingungen gestellt werden:

1. Die Schwerhörigkeit ist in einer Zeit entstanden, in der der Betroffene einer Gehörgefährdung ausgesetzt war.
2. Die Schwerhörigkeit betrifft vorwiegend die hohen Frequenzen und weist in diesem Bereich die Zeichen eines Schadens der äußeren Haarzellen in Form von Recruitment oder von Recruitmentäquivalenten auf.
3. Der sprachaudiometrische Hörverlust entspricht dem tonaudiometrischen Hörverlust im Bereich von 500-1000 Hz, es besteht keine oder nur ein geringer Diskriminationsverlust und der Abstand zwischen der Zahlen- und der Einsilberkurve ist größer als normal.
4. Die Hörverluste sind auf beiden Ohren annähernd seitengleich (Symmetrieregeln).

Sehr hohe Lärmpegel, insbesondere bei Impulshaltigkeit können bei Überschreitung von 120 dB(A) schon nach einigen Minuten, bei Überschreitung von 135 dB(A) schon durch einzelne Schallereignisse bleibende Gehörschäden verursachen.

Bei Lärmarbeitern, die stark wechselnden oder impulshaltigen Lärmpegeln ausgesetzt sind, können so untypische audiometrische Bilder entstehen.

Eine Luftleitungs-Knochenleitungs-Differenz kann nicht die Folge von Lärm sein. Eine Schallleitungs-Komponente kann jedoch für die Bemessung der MdE bedeutsam sein, wenn sie durch einen Vorschaden verursacht ist. Eine Schallleitungsstörung hat darüber hinaus eine Schutzfunktion für das Innenohr.

Hörverluste in den tiefen Frequenzen bis 1000 Hz gehören nicht zum typischen Bild der berufsbedingten Lärmschwerhörigkeit, können aber bei langjähriger hoher Lärmbelastung bis zu 30 dB als Lärmfolge angesehen werden.

Eine audiometrisch fassbare Schwerhörigkeit setzt voraus, dass etwa die Hälfte der äußeren Haarzellen im entsprechenden Bereich des Corti-Organ funktionell ausgefallen ist.

Eine Berufskrankheit im versicherungsrechtlichen Sinne ist immer anzunehmen, wenn der Lärm am Arbeitsplatz eine wesentlich mitwirkende Ursache ist und nicht gegenüber den Nichtlärmfaktoren als vernachlässigend gering einzustufen ist.



Bei der Bemessung der MdE ist das Sprachaudiogramm maßgeblich. Bei Ausländern kann hilfsweise das Ergebnis der Abstandsprüfungen und das Tonaudiogramm unter Hinzuziehung der Tabellen von Röser benutzt werden. Die Bemessung der MdE bei Parallelschäden macht eine möglichst sichere Abgrenzung der durch die einzelnen Einflussgrößen verursachten Hörschäden notwendig.

Nachschäden können niemals als Folge einer Berufskrankheit angesehen und mit einer MdE bewertet werden (Plath, 1992).

Zusammenfassend können die Studien anhand der Evidenzstufen tabellarisch wie folgt dargestellt werden:

### Evidenztabelle Klassik:

Art der Schädigung	Studien	Evidenzstufe nach Antes
Klassische Musik schädigt das Gehör von Musikern <i>erheblich</i>	Axelsson, Lindgren 1981; Rabinowitz 1982; Berghoff 1968; Royster 1991; Cudennec 1990; Siroky 1976; Frei 1979 und 1981; Schäcke 1987; Gryczynska 1977; Steurer 1998; Jatho, Hellmann 1972; Westmore 1981; Mc Bride 1992; Woolford 1984; Ostri, Eller 1989; Zeleny 1975;	Stufe IV
Klassische Musik schädigt das Gehör von Musikern <i>nicht</i>	Arnold, Miskolsky-Fodor 1960; Flach, Aschoff 1966; Flach 1972; Johnson et al. 1986; Kähari, Axelsson 2001; Karlsson et al. 1983; Obeling, Poulsen 1999; Schmidt, Verschuure, Brocaar 1994;	Stufe IV
Klassische Musik <i>kann</i> das Gehör von Musikern schädigen	Behar 2004; Jansson, Karlsson 1983; Dupasquier 2005; Kwiatkowski 1986; Early, Horstmann 1996; Laitinen 2003; Folprechtova 1981; Rosanowski 1996; Hohmann 2003; Sabesky 1995;	Stufe V

### Evidenztabelle Popmusik:

Art der Schädigung	Studien	Evidenzstufe nach Antes
Klassik/Popmusik verursacht wahrscheinlich <i>keinen</i> Hörschaden	Kuhl 1976 Rintelmann 1968	Stufe V
Popmusik schädigt das Gehör	Axelsson, Lindgren 1977, 1978, 1981;	Stufe IV

von Musikern, Zuhörern, DJ's, Tontechnikern und Kneipenpersonal <i>erheblich</i>	Jerger, Jerger 1970; Kähari et al. 2003; Bray 2004; Redell, Lebo 1972; Chüden, Strauss 1974; Schmuziger et al. 2006; Speaks et al. 1970; Dey 1970; Yassi et al. 1993; Drake-Lee 1992;	
Popmusik verursacht wahrscheinlich einen Hörverlust	Fearn 1975; Lebo, Oliphant 1968	Stufe V

### 1.9 Alter und Geschlecht als Einflussfaktoren

Eine Studie von Corso 1962 stellt eine teure Laborstudie dar, die Daten über charakteristisches Hören von Personen erheben wollte, die geordnet nach Alter einem minimalen Level von Industrielärm ausgesetzt waren. Die Probanden waren zwischen 18 und 65 Jahre alt, sie wurden in 6 Gruppen eingeteilt.

Durch Laborstudien können die äußeren Einflüsse besser ausgeschaltet werden als bei Feldstudien. Die Hörverluste sind unter diesen besonderen Bedingungen immer etwas niedriger, was einen realistischeren Blick auf die Realität widerspiegelt.

Die Daten wurden in drei Typen eingeteilt: 1. die Original-Aufteilung mit allen Probanden, 2. die gescreente Aufteilung, die bestimmte Screeningkriterien aufwies und 3. gestutzte Daten, die nur Hörverluste  $\pm 15$  dB enthielten.

Die erste Gruppe im Alter zwischen 18 und 24 Jahren diente als Grundlage für die Hörschwellen der anderen 5 Gruppen. Die 2. Gruppe lag zwischen 26 und 32 Jahren, die 3. zwischen 34 und 40, die 4. zwischen 43 und 49, die 5. zwischen 51 und 57 und die letzte zwischen 59 und 65 Jahren. Vor der audiometrischen Untersuchung wurden alle Probanden von einem Arzt otoskopisch untersucht und mussten einen Fragebogen ausfüllen.

Die Daten wurden mit denen der American Standards Association verglichen.

Der Sensitivitätsverlust, der durch jahrelange exzessive Exposition im Lärm entsteht, kann, wenn auch nur zum Teil, von anderen Ursachen abgegrenzt werden. Dies war das Ziel der Studie.

Es wurde vorausgesetzt, dass Presbyakusis und Lärmexposition additiv wirken und keine Interaktion zwischen beiden besteht.

Zwischen den durchschnittlichen Werten für das rechte und linke Ohr ergaben sich nur geringe Unterschiede (weniger als 5 dB). Die Frauen hörten im Durchschnitt besser als die Männer, mit Ausnahme der Altersgruppe von 51-57 Jahren und zwischen 59 und 65 Jahren. Dort hörten die Frauen schlechter, vor allem in den tieferen Frequenzen. Bei beiden Geschlechtern verminderte sich das Hörvermögen mit dem Alter und mit höheren Frequenzen. Männer zeigen einen 5 Jahre früheren

Beginn der Lärmschwerhörigkeit als Frauen, aber bei Frauen schreitet er schneller voran (Corso, 1962).

1980 erhob Corso neuere Daten zu den Faktoren Presbyakusis und Lärmexposition im Hinblick auf einen dauerhaften Hörverlust.

Es wurde ein quantitatives Modell vorgestellt, aus dem ein Alterskorrekturfaktor gewonnen werden kann.

Das Grundprinzip beruht auf physiologischen und audiometrischen Daten. Die additive Hypothese der beiden Faktoren wird berücksichtigt und die Beschränkungen dieser Annäherung werden dargestellt.

Das Modell beruht auf dem Konzept des variablen Verhältnisses der Aufteilung der Effekte von Presbyakusis und Lärmexposition. Es wird überlegt, das Modell bei gerichtsmedizinischen Fällen von beruflichem Hörverlust anzuwenden, um den Grad des Hörverlustes zu bewerten.

Die pathologischen Effekte des Alters sind ausgedehnter, sie erstrecken sich auf die Basilarmembran, das Spiralband, die Stria vascularis, die Neuronen, die akustischen Nerven und den Temporallappen des Gehirns. Die Pathologie der Presbyakusis erstreckt sich über das gesamte auditorische System und ist nicht auf den Haarzellschaden begrenzt.

Das typische Audiogramm eines Lärmschadens zeigt eine Senke bei 4000 Hz, während das Audiogramm einer reinen Presbyakusis ihre ganz eigene Form hat, die vorwiegend die hohen Frequenzen betrifft.

Im Moment gibt es keine bessere Methode, einen Hörschaden festzustellen, als mit der Tonaudiometrie. Sie stellt vor allem ein diagnostisches Werkzeug dar.

Es wurden anamnestische Faktoren ausgeschlossen, die den resultierenden Korrekturfaktor beeinflussen.

Bei der Auswahl der Probanden für diese Studie gab es zwei Voraussetzungen. Zum einen mussten sie mit 20 Jahren begonnen haben, in einem Lärmbetrieb zu arbeiten für eine bestimmte Anzahl an Jahren und zum anderen durften die audiometrischen Daten nur durch Lärm und Alter beeinflusst werden.

Das variable Verhältnis zeigt den relativen Beitrag des Alters und der Lärmexposition bei dem Verursachen eines bestimmten Hörverlustes in einem bestimmten Lebensalter.

Der Alters-Korrektur-Faktor wird ab 35 Jahren für Männer und ab 40 Jahren für Frauen wichtig (Corso, 1980).

## **1.10 Ton und Geräusch in ihrer gehörschädigenden Wirkung**

Die noch zulässigen Schalldruckwerte sollten sich möglichst auf einen Reinton oder die so genannte kritische Bandbreite beziehen, da diese der eigentlichen Haarzellschädigung entspricht.

Es bestehen ganz unterschiedliche Belastungsverhältnisse im Hörorgan, wenn mit Reinton oder einem Geräusch von gleichem Schalldruck beschallt wird.

Ein reiner Ton von derselben Energie wird unangenehmer empfunden als ein „weißes Geräusch“, da dieselbe Energie bei Reintonbelastung auf eine kleine umschriebene Gruppe von Haarzellen wirkt. Man findet rasch auftretende Adaptationsrückstände und tonähnliche Schädigungen durch Geräusche geringer Frequenzbreite.

Die Bandbreite eines Geräusches ist für das Auftreten eines Lärmschadens mitverantwortlich.

Die schädigende Wirkung auf die Haarzellen ist bei gleichen Lärmschalldruckwerten am größten, wenn es sich um Beschallungen mit reinen Sinustönen handelt.

Je mehr Frequenzanteile in einem Geräusch enthalten sind, desto geringer wird die Energie, die auf eine einzelne Haarzelle wirkt.

Der Phon-Wert ist somit überhaupt nicht mehr zu verwenden, da erst die Frequenzanalyse mit möglichst schmalbandigen, der kritischen Frequenzbreite sich nähernden Filtern die tatsächliche Energieverteilung auf der Basilarmembran widerspiegelt. Man muss also zur Beurteilung, ob Geräusche für das Ohr schädigend sind, sowohl die Intensität als auch die Bandbreite eines Geräusches kennen.

Das Gehör nimmt unterhalb 500 Hz die Geräuschleistung in Frequenzabschnitten konstanter Breite auf, oberhalb von 500 Hz aber in Frequenzabschnitten, deren Breite proportional mit der Frequenz zunimmt. Jeder Reinton kann also von einem Schmalbandgeräusch erst dann verdeckt werden, wenn es so breit ist wie die Frequenzgruppe.

Lärm wirkt sich bei gleicher Intensität weniger schädigend auf das Ohr aus, je breiter sein Frequenzspektrum ist (Dieroff, 1959).

### **1.11 Unterschied zwischen Impulslärm und Dauerlärm**

In einer Studie von Schwetz 1992 wurden 46 776 Personen im Alter von 15-65 Jahren, die länger als 6 Monate, täglich mehr als 4h einem energieäquivalenten Dauerschallpegel von über 85 dB(A) ausgesetzt waren, untersucht. Von diesen Arbeitnehmern waren 11 % einem impulshaltigen Lärm ausgesetzt. 12,7 % waren Frauen und 10,3 % Männer.

Bei beiden Lärmarten nahm der Hörverlust mit steigender Dosis zu.

In den ersten drei Dosisgruppen (85-115 dB(A)) war der Hörverlust durch Impulslärm stets kleiner als durch Dauerlärm, um in der Dosisgruppe 116-125 dB(A) sprunghaft anzusteigen und die Hörverluste durch Dauerlärm wesentlich zu überragen.

Nach diesen Ergebnissen muss dem kontinuierlichen Lärm bis zu einer Dosis von etwa 115 dB(A) die stärkere Pathogenität für das menschliche Ohr zugesprochen werden.

Bei der vorliegenden Studie von Schwetz 1992 wurde die Ursache für die schädlichere Wirkung des kontinuierlichen Lärms in der Schutzwirkung des Mittelohrreflexes gesehen, der auf einer Impedanzänderung des Mittelohrsystems beruht und nach seiner Auslösung durch den Impuls 2 s bestehen bleibt.

Der Schädigungsgrad des Impulslärms schien sich im Laufe seiner Einwirkzeit zu verändern, d.h. zu verstärken.

Pathogenetisch betrachtet würde das bedeuten, der Schutzmechanismus des Stapediusreflexes verliert mit der Dauer des einwirkenden Impulslärms an Wirkung (Schwetz, 1992).

In einer Studie von Dieroff 1975 wurden in einem Fahrzeugzubehörwerk, in dem vorwiegend Felgen hergestellt werden, 251 Lärmarbeiter audiometrisch untersucht. Dazu wurde das Werk in 4 Abteilungen unterteilt: 1. Preßwerk, 2. leichte Räderabteilung, 3. schwere Räderabteilung und 4. Zuschneiderei. Für jede Abteilung wurde der Dauerschallpegel  $L_{eq}$  berechnet und mit dem mittleren Hörverlust verglichen.

Dabei ergaben sich zwei Schwierigkeiten: zum einen die Bestimmung des  $L_{eq}$  und zum anderen die Unmöglichkeit, eine größere Zahl von Lärmarbeitern zur Verfügung zu haben, die bei gleichen Voraussetzungen zusammengefasst werden können.

Bei der Bestimmung des Dauerschallpegels stellten die vielen Einzelimpulse, die bei den verschiedenen Arbeitsgängen erzeugt werden und das Ohr sehr unterschiedlich belasten, das eigentliche Problem dar. Jeder Hammerschlag, das Stanzen, Pressen, das Aus- und Abwerfen von Metallteilen entwickeln Impulse mit mehr oder weniger hohen Schalldruckspitzen und unterschiedlicher Verweildauer bzw. Einwirkzeit auf das Hörorgan.

Es konnten nur 145 Arbeiter erfasst und ausgewertet werden. Nach der Aufschlüsselung in 3 Gruppen der Lärmbelastung nach Arbeitsjahren ( $\leq 5$ , 6-10,  $> 10$ ) fand sich in 2 Gruppen nur noch 1 Person, die ausgewertet werden konnte.

Ein Vergleich zwischen mittlerem Hörverlust und dem Dauerschallpegel am Arbeitsplatz zeigte sich keine zuverlässige Korrelation zwischen dem gemessenen Dauerschallpegel am Arbeitsplatz, den Arbeitsjahren im Lärm und dem gemittelten Hörverlust. Als Ursache konnten viele Einzelimpulse ermittelt werden, die sehr hohe Schalldruckspitzen erzeugten.

Die Werte der leichten und der schweren Räderabteilung ergaben eine Korrelation, wahrscheinlich wegen der Ähnlichkeit der Arbeitsgänge, es bestanden nur Unterschiede in der Laufgeschwindigkeit und in der Größe der Maschinen.

Das Presswerk und die Zuschneiderei wichen in ihren Werten erheblich ab.

Es bestand eine sehr gute Übereinstimmung der mittleren Hörverlustwerte in den Prüffrequenzen 3,4 und 6 kHz sowie 3,6 und 8 kHz.

Eine exakte Erfassung der Belastung des Hörorgans bei Personen, die impulsreichem Arbeitslärm ausgesetzt sind, ist nicht möglich.

Bei Impulsschallbelastungen ist die tatsächliche Schalleinwirkung auf das Hörorgan einer Einzelperson durch die ständig sich ändernde Kopfhaltung sehr unterschiedlich und nicht vorausberechenbar, denn die Schalldruckspitzen besitzen eine große Richtwirkung und treffen mit erheblicher Verstümmelung auf das Innenohr.

Geringe Drehungen des Kopfes führen zu unübersehbaren Abweichungen. Ebenso lässt sich der Einfluss bei Impulsschallbelastungen einer Hörstörung entgegenwirkenden Impedanzänderung des Mittelohres in keiner Weise abschätzen.

Impulslärm, der die 130-dB-Grenze überschreitet, setzt bereits im Haarzellager des Innenohres bleibende mechanische Schäden, die zu der später resultierenden Funktionseinbuße beitragen (Dieroff, 1974).

Nach der Auswertung dieser Studie darf man folgern, dass zurzeit bei impulsreichem Arbeitslärm eine audiometrische Einstellungsuntersuchung und laufende Kontrolluntersuchungen trotz des hohen personellen und technischen Aufwandes, die einzigen zuverlässigen Maßnahmen sind, die Lärmschwerhörigkeit rechtzeitig zu erkennen, sie richtig einzuschätzen und ihren Verlauf zu verfolgen (Dieroff, 1975).

Starck und Mitarbeiter untersuchten 2003 Impulslärm und seine Risikokriterien (Starck et al., 2003).

Impulslärm wird oft definiert als Lärm, der aus einzelnen Impulsen mit einer Dauer von weniger als einer Sekunde mit einem Spitzenpegel von 15 dB über dem Hintergrundlärm zusammengesetzt ist.

In Europa erlauben die Risikokriterien Pegel von bis zu 140 dB. Das gleiche Limit, allerdings C-gewichtet gilt in Großbritannien und Amerika. Die Franzosen begrenzen ihre Lärmpegel auf 135 dB(A). In der Praxis bedeutet eine Verschiebung um 6 dB einen zusätzlichen Hörverlust von 5-8 dB bei 4 kHz nach 30 Jahren der Exposition gegenüber 85-95 dB Lärm.

Beim Impulslärm beträgt die Anstiegszeit 35 ms und die Abklingzeit 3 s, was 100-mal länger ist als für ein ansteigendes Level. Eine exakte Charakterisierung eines industriellen Impulslärms ist nicht durchführbar, da der Lärm in Zeit und Raum variiert. Er verursacht wesentlich mehr ernst zu nehmende Hörverluste als ein konstanter Lärm. Berufsimpulslärm verursacht Hörverluste, die 5-12 dB bei 4 kHz über dem des konstanten Lärms liegen. Für den Impulslärm gibt es zwei Arten, diesen zu messen: die Spitzenpegelmethode oder die Energie-Evaluationsmethode. Bei den Impulslärm-arbeitsplätzen finden die Risikokriterien der Länder keine Verwendung, da der Lärm selten 140 dB überschreitet und die Impulse oftmals so schnell sind, dass sie nur eine geringe Menge zur Lärmenergie beitragen. Der Gehörschutz dämpft den industriellen Impulslärm effektiver als einen konstanten Lärm, aber er verhindert keine Hörverluste (Starck et al., 2003).

## **1.12 Die Schalleitungsschwerhörigkeit als Lärmschutz**

Durch verschiedene Experimente von Dieroff sollte der Frage nachgegangen werden, ob schicksalsbedingte Schalleitungsschwerhörigkeiten einen sicheren Schutz gegenüber Berufslärm darstellen.

Es wurden Beschleunigungswerte am Warzenfortsatz gemessen, Dämmwerte von Ohropax und die Schalldruckerhöhung bei verschlossenem Gehörgang.

Die Untersuchungen ergaben, dass ein Gehörgangverschluss und somit auch eine schicksalsbedingte Schalleitungsschwerhörigkeit einen Schallschutz im überschwelligen Schallintensitätsbereich darstellen.

Dennoch wird davon abgeraten, Menschen mit Schalleitungsschwerhörigkeiten oder kombinierten Schwerhörigkeiten im Lärm arbeiten zu lassen, da keine Aussage darüber getroffen werden kann, ob das Innenohr durch den Mittelohrprozess überdurchschnittlich lärmempfindlich ist.

Bei Arbeitern mit völlig normaler Innenohrfunktion empfiehlt sich eine  $\frac{1}{4}$  -  $\frac{1}{2}$  jährliche Kontrolle der Innenohrleistung (Dieroff, 1964).

### **1.13 Protektive Stimulation durch ein Geräusch**

Ryan und Mitarbeiter benutzten vierzig mongolische Wüstenrennmäuse im Alter zwischen 45 und 90 Tagen als Versuchstiere, da ihre Mittelohrmuskulatur gegen Infektionen resistent ist.

Die Tiere wurden in Gruppen aufgeteilt, Gruppe I mit 6 Tieren wurde nicht mit einem nicht schädigenden Lärmstimulus konditioniert, Gruppe II mit 5 Tieren wurde nur konditioniert und Gruppe III mit 7 Tieren wurde konditioniert und hatte danach eine Lärmpause von einer Woche.

Der Lärmstimulus war ein Zwei-Oktavbandgeräusch in der unteren Hälfte der auditorischen Wahrnehmung einer Wüstenrennmaus. Die Schallintensität des Lärmstimulus betrug 81 dB SPL. Die Tiere wurden für 3 Wochen kontinuierlich im Lärmfeld beschallt. Um einen Hörschaden zu setzen, wurden die Tiere für eine Stunde durchgehend mit einem Schallpegel von 110 dB SPL beschallt. Die Tiere, denen eine Woche Ruhe gegönnt wurde, waren einem Schallpegel von unter 10 dB während dieser Zeit ausgesetzt.

Die audiometrischen Daten wurden über Elektroden am Vertex abgeleitet. Als Kontrolle wurde die erste Gruppe vor Lärmexposition gemessen.

Bei der zweiten Gruppe, die über 3 Wochen konditioniert wurde, fand sich nach der Konditionierung eine Hörschwellenverschiebung von 0-40 dB. Bei der dritten Gruppe, die sich nach der Konditionierung eine Woche erholen konnte, lagen die Hörschwellenverschiebungen nur bei 0-12 dB.

Nach der einstündigen Lärmexposition bei 110 dB SPL zeigten Gruppe I und II Verschiebungen der Hörschwelle zwischen 45 und 85 dB. Zwischen den Gruppen fand sich kein statistischer Unterschied. Nach 2 Monaten lagen die Hörverluste von Gruppe I und II bei 20-40 dB, bei Gruppe III hingegen waren die Hörschwellenverschiebungen signifikant niedriger. Gruppe III zeigte weniger als 10 dB an permanentem Hörverlust, was einen protektiven Effekt der Konditionierung zeigt.

Die Tiere der zweiten Gruppe zeigten weniger Hörverluste nach der 110-dB-Beschallung als die unkonditionierten Tiere der Gruppe I.

Die Widerstandsfähigkeit gegen ein Lärmtrauma scheint danach nicht von der Aktivität der Mittelohrmuskulatur abzuhängen (Ryan et al., 1993).

Schon 1988 setzte Canlon 32 Meerschweinchen (25 Kontroll- und 7 Versuchstiere) einem nicht schädigendem Dauerschall aus, bevor sie mit einer Lautstärke beschallt wurden, die erwiesenermaßen zu einer PTS führt. Dadurch sollte versucht werden, durch die vorherige Stimulation der Cochlea die PTS zu einer TTS umzuwandeln.

Der akustische Niedriglevel-Stimulus, der den Versuchstieren gegeben wurde, war ein 1 kHz Ton mit 81 dB, der 24 Tage kontinuierlich geschallt wurde.

Vor der Beschallung wurde bei allen Tieren ein Audiogramm erstellt, die Versuchstiere wurden nach der 24-tägigen Beschallung erneut getestet. Alle Tiere wurden dann einem 1 kHz Ton mit 105 dB für 72 h ausgesetzt, danach wurde wieder gemessen.

Es konnten nur Hörverluste von mehr als 10 dB getestet werden. Nach der Exposition des Niedrigleveltons traten keine Hörverluste auf.

Die Kontrollgruppe hatte eine Hörschwellenverschiebung zwischen 33 und 53 dB, die Versuchsgruppe nur einen zwischen 8 und 40 dB.

Nach einer 8-wöchigen Ruhepause wurden erneut Hörtests bei allen Tieren durchgeführt: Die Versuchstiergruppe zeigte ein komplett erholtes Gehör, das schon nach 3 Tagen nach Exposition um 10-15 dB besser geworden war, was man bei der Kontrollgruppe nicht beobachten konnte. Nach der 8-wöchigen Ruhepause zeigte die Kontrollgruppe immer noch einen Hörverlust zwischen 14 und 35 dB, keines der Tiere zeigte ein normales Gehör, so wie es vor Exposition gewesen war.

Statt einer permanenten Hörstörung, die die Kontrolltiere erlitten, wiesen die Versuchstiere, die vorher mit einem leisen Ton beschallt wurden, nur zeitweilige reversible Hörstörungen auf (Canlon et al., 1988).



## **2. Material und Methode**

### **2.1 Literaturrecherche**

Bei der vorliegenden Dissertation handelte es sich um eine Literatuarbeit; d. h. es wurden keine neuen Daten zur lärmbedingten Hörminderung erhoben oder ausgewertet. Die Literaturrecherche konzentrierte sich vielmehr darauf, die gesamte derzeit vorliegende Literatur zum Thema der Hörminderung bei Musikern zu sichten und integrativ zu analysieren.

Relevante Daten zu diesem Thema wurden in verschiedenen Medien publiziert:

- Fachzeitschriften
- Fachbücher
- Datenbanken
- Organe der Berufsgenossenschaften
- DIN-Normensammlungen

### **2.2 Gliederung der gefundenen Quellen nach definierten Kriterien**

Die Auswertung der gefundenen Quellen basierte auf einer Reihe definierter Kriterien. Zunächst wurde Primär- von Sekundärliteratur unterschieden. Besonderes Interesse galt den primären Quellen, die wiederum hinsichtlich des individuellen Studiendesigns, der Menge und Zusammensetzung des Probandenkollektivs, der Expositionszeit, Schalldruckmessergebnissen und Audiometriebefunden analysiert wurden, mit deren Hilfe die Hörminderung quantitativ erfasst worden war.

Was die Auswertung bereits vorliegender Sekundärliteratur anbelangt, wurde vor allem nach Review-Artikeln bzw. aussagekräftigen Meta-Analysen zum Thema der Hörminderung im Allgemeinen sowie der Hörminderung bei Musikern im Speziellen gesucht.

### **2.3 Datenbankrecherche**

Wichtiger methodischer Bestandteil der vorliegenden Studie war die Schlagwortsuche in geeigneten Datenbanken, wie Pubmed, Medline. Hierbei wurde unter folgenden Keywords gesucht: „musicians“, „music“, „hearing disorders“, „hearing in musicians“. Bei viel versprechenden Studien wurde durch die Funktion „related articles“ nach ähnlichen Studien gesucht. Nach einer ersten Sichtung und Beurteilung der Studien erweiterte ich diese bereits getroffene Auswahl durch eine Handsearch des Literaturverzeichnisses bei besonders herausragenden Studien.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Qualitätsmerkmale der Studien

Die Güte der Studien lässt sich an mehreren Merkmalen feststellen. Zunächst ist es wichtig, einen Hörverlust zu definieren. Des Weiteren ist bei der Auswahl der Probanden auf etwaige Risikofaktoren dieser wie Alter, Geschlecht, Instrument, Sitzposition im Orchester, Spielen/Üben außerhalb des Orchesters, Lärmexposition (Hobby, frühere Arbeitstätigkeiten) zu achten, die möglicherweise zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen könnten. Nach vorbestehenden Ohrpathologien ist unbedingt in einer ausführlichen Anamnese und klinischen Untersuchung zu achten. Zur Klärung dieser Frage tragen auch die Familien- und Medikamentenanamnese bei. Die Audiometrie sollte vor Proben stattfinden und sollte im Frequenzbereich von 0,25-8 kHz getestet werden. Größere Studien mit mehr Probanden haben eine größere statistische Aussagekraft und führen häufiger und verlässlicher zu einem signifikanten Ergebnis.

Darüber hinaus ist der Ort der Schallpegelmessungen von entscheidender Bedeutung. Es sollte immer darauf geachtet werden, dass dieser bei allen Messungen detailliert angegeben wird. Außerdem sollte immer ein äquivalenter Dauerschallpegel mit Expositionsdauer berechnet werden. Eine Gütekriterien-Tabelle findet sich im Anhang.

Im Zusammenhang von Evaluationsforschung und Qualitätssicherung finden in neuerer Zeit auch häufig Begriffe der „Evidence Based Medicine“ („evidenz-basierten Medizin“ EBM) in die neueren Forschungserkenntnisse als Grundlage klinischen Handelns Einzug (Perleth, 1995; Schwart und Perleth, 1998). Diese Evidenz (von lat. *evidentia* – Veranschaulichung) wird in den Naturwissenschaften im Rahmen von kontrollierten klinischen Studien gewonnen, die hohen Qualitätsanforderungen gerecht werden müssen. Die evidenz-basierte Medizin beruht auf drei Säulen: 1. der Einstellung (*attitude*), 2. den Fähigkeiten, Werkzeugen (*skills*), 3. dem Wissen (*knowledge*) (Porzolt, 1998). Als Werkzeug wird die Datensuche anhand von Datenbanken verwendet. Als interne Evidenz bezeichnet man das Handeln anhand des eigenen Wissens und auch der eigenen subjektiven Meinung, zur externen Evidenz zählt man die hierarchische Beurteilung nach den Kriterien der Güte der zugrunde liegenden Studien in fünf Stufen. Level I repräsentiert hierbei die stärkste, Level V die schwächste Evidenz (Richter, 2001).

Hierarchie der wissenschaftlichen Evidenz (zit. nach Antes, 1997):

Stufe I	Systematischer Review auf der Basis methodisch hochwertiger randomisierter/kontrollierter Studien (RCTs)
Stufe II	wenigstens ein ausreichend großer, methodisch hochwertiger RCT
Stufe III	methodisch hochwertige Studien ohne Randomisierung bzw. nicht prospektiv
Stufe IV	mehr als eine methodisch hochwertige nichtexperimentelle Studie
Stufe V	Meinungen und Überzeugungen von Autoritäten und Expertenkommissionen, beschreibende Studien

### 3.2 Dynamik und Schalleistung von Orchesterinstrumenten

Aus umfangreichen Untersuchungen über den abgestrahlten Schalldruck- oder Schalleistungspegel und den Dynamikumfang von Clark und Luce, Spelda sowie Meyer und Angster wurden die Ergebnisse in Schalleistungspegel umgerechnet.

So ergaben sich nun zuverlässigere Werte für den mittleren Schalleistungspegel im Forte sowie für die Grenzen des spielbaren Dynamikbereiches.

Der mittlere Schalleistungspegel im Forte liegt bei den Streichern um 90 dB, bei den Holzbläsern um 93 dB und bei den Blechbläsern um 102 dB.

Der Dynamikumfang bei schnell gespielten Tonleitern beträgt jeweils etwa 12 dB für Flöte und Oboe, 20 dB für Violine, Violoncello, Klarinette und Horn sowie 16 dB für die restlichen Instrumente.

Der Dynamikumfang bei langsam gespielten Tönen liegt meist zwischen 25 dB und 30 dB, bei Flöte und Oboe jedoch etwas geringer, bei Violine, Posaune, bei Klarinette und Horn dagegen größer.

Der Schalleistungspegel eines Orchesters im Forte liegt in der Größenordnung von 110 dB, im Fortissimo von 120 dB (Meyer, 1990).

### 3.3 Lautstärkeadaptation bei Musikern im Vergleich zu Nichtmusikern

Die Lautstärken-Adaptation ist nicht einfach dem Phänomen der neuralen Adaptation im auditorischen Nerven zuzurechnen, denn die physiologische Basis des Phänomens ist bislang noch unbekannt.

In einer Studie von Micheyl 1995 sollte herausgefunden werden, ob ein wirklicher psychophysiologischer Unterschied zwischen Musikern und Nichtmusikern besteht (Micheyl et al., 1995).

Dazu wurden 42 Probanden mit normalem Hörvermögen ausgewählt. 12 dieser Probanden waren Musikstudenten und spielten alle seit mehr als 12 Jahren mindestens 2h am Tag ihr Instrument. Die anderen 30 Personen waren keine Musiker.

Eine audiometrische Untersuchung und TEOAEs (transient evozierte otoakustische Emissionen) wurden bei allen Freiwilligen durchgeführt.

Der Tone-Decay-Test lief folgendermaßen ab. Zunächst wurde die Hörschwelle bei der Frequenz, die vorher festgelegt worden war, präzise gemessen. Dann wurde ein kontinuierlicher Ton der korrespondierenden Frequenz just oberhalb der Hörschwelle erzeugt und ein Zeitmesser gestartet. Die Intensität des Tones wurde nach 90 s und nach 180 s aufgeschrieben. Der Proband wurde währenddessen aufgefordert, sofort zu signalisieren, wenn er meint, dass der Ton verschwindet und er ihn nicht länger hört.

Die Intensität des Tones wurde konstant gehalten, wenn der Proband kein Verschwinden signalisierte, und wurde in 1-dB-Schritten erhöht, jedes Mal, wenn der Proband ihn nicht mehr hörte. Die drei Testfrequenzen waren 0,5, 1 und 4 kHz.

Die TEOAEs wurden nach der Methode von Bray und Kemp (1987) durchgeführt. Dabei wurden die Variationen des Schalldruckes des Gehörgangs nach einer transienten Stimulation gemessen. Die Stimuli hierbei waren Klicks von 80  $\mu$ s Dauer und die Klick-Rate war 50/s. Cochleäre Antworten wurden über eine Analysezeit von 20 ms gemittelt.

Um das mediale olivocochleäre Feedback bei jedem Probanden zu beurteilen, wurden die TEOAEs in einem Ohr aufgenommen, mit und ohne einem 30-dB-SL Breitbandgeräusch als Stimulation im anderen Ohr.

Auswertbar wurden die Messungen bei 35 Probanden, unter denen 24 Nichtmusiker (13 Männer und 11 Frauen) und 11 Musiker (4 Männer und 7 Frauen) waren.

Das Ausmaß der Adaptation war nach 90 s und nach 180 s signifikant kleiner bei 500 Hz als bei 1 kHz. Ein signifikanter Unterschied zwischen Musikern und Nichtmusikern wurde nur bei 4 kHz gefunden. Bei dieser Frequenz zeigten Musiker weniger Lautstärkeadaptation als die Nichtmusiker.

Die TEOAEs waren nur bei zwei Stimulationen signifikant unterschiedlich: Bei -18 dB waren die TEOAEs im Mittel um 0,436 dB und bei -15 dB um 0,382 dB bei den Musikern größer als bei den Nichtmusikern.

Der Grad der Adaptation stieg mit dem der Erhöhung der Testfrequenz. Bei den Musikern ließ die durch einen Ton ausgelöste Intensitäts-Wahrnehmung über die Zeit und mit ansteigender Frequenz weniger nach als bei den Nichtmusikern.

Solch eine Fähigkeit, die Lautheit eines Schalles mehr oder weniger konstant zu halten, über längere Zeit und über ein breiteres Frequenzspektrum, kann als eine Möglichkeit für das auditorische System gedacht sein, den Fluktuationen der Schallintensität besser zu folgen.

Bei kontralateraler Stimulation reduzierten sich die TEOAEs bei Musikern mehr als bei Nichtmusikern. Solch ein Abfall der TEOAE-Amplitude unter kontralateraler Stimulation kann nicht einfach durch transkranialen Transfer oder akustischen Reflex der Mittelohrmuskeln erklärt werden.

Vielmehr ist anzunehmen, dass das mediale olivocochleäre Feedback im Durchschnitt bei den Musikern stärker ist als bei den Nichtmusikern.

Dies unterstützt die Hypothese der Beziehung zwischen dem psychoakustischen Phänomen der simplen Lautstärkenadaptation und dem physiologischen Phänomen der Modulation der aktiven cochleären Mechanismen durch das mediale olivocochleäre System.

Diese beiden Phänomene scheinen durch das Erlernen von Musik beeinflusst zu werden (Micheyl et al., 1995).

### 3.4 Affektive Kopplung

Fuhrmeister und Wiesenhütter haben Untersuchungen an drei verschiedenen Orchestern (A, B, C; insgesamt 208 Berufsmusiker; Durchschnittsalter: 46 Jahre) durchgeführt, bei denen A am meisten und C kaum zeitgenössische Werke spielten. Beteiligung von 81 % der Musiker aller 3 Orchester (Fuhrmeister und Wiesenhütter, 1973).

Die meisten Musiker waren von funktionellen Störungen betroffen, wie Schlaflosigkeit, Nervosität, Wetterempfindlichkeit, Ermüdbarkeit oder Kopfschmerzen.

Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems spielten eine im Verhältnis bedeutendere, mindestens jedoch gleichwertige Rolle gegenüber denen des Stütz- und Bewegungsapparates sowie den instrumentenbedingten Beschwerden.

Die instrumentenbedingten Beschwerden haben in den letzten Jahren durch den bewusst physiologisch ausgerichteten Unterricht und die besseren Arbeitsverhältnisse an Bedeutung verloren.

Die Studie zeigte einen erstaunlich hohen Anteil an intestinalen Beschwerden, vor allem bei Orchester A, das davon mehr als dreimal so stark betroffen war wie das Vergleichsorchester C.

Im Vergleich der 3 Orchester zeigte sich, dass sowohl der körperliche als auch der seelische Gesundheitszustand der Musiker des ausgesprochen „zeitgenössischen“ Orchesters (A) der signifikant schlechteste war. Sie litten vor allem häufiger an Herz-Kreislaufkrankungen, Erkrankungen des Intestinums sowie funktionellen Störungen. Bedeutend seltener waren bei Orchester A die klassischen Berufskrankheiten der Musiker, wie instrumentenbedingte Beschwerden und Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates.

Die Musiker des Orchesters A hatten weder im Einzelnen noch in toto eine signifikant stärkere Disposition zu den späteren Leiden mitgebracht als ihre Kollegen in den Vergleichsorchestern.

Symptome, die unmittelbar nach Proben zeitgenössischer Musik auftraten, waren, Nervosität, Spannung, Gereiztheit, Kopf- und Ohrenschmerzen, Depressionen, Störungen des Ehe- und Familienlebens, allgemeine Lustlosigkeit, schwerer Erschöpfungszustand, Schlafstörungen, abdominelle Beschwerden, Herzbeschwerden und Impotenz. Hervorzuheben ist, dass diese Symptome nicht nur bei Musikern auftraten, die der zeitgenössischen Musik ablehnend oder feindlich gegenüberstanden.

Subjektiv benannten die Musiker der Orchester A und B die zeitgenössische Musik als die wichtigste Ursache für ihre Beschwerden. Mehr als 2/3 der Musiker bezeichneten zeitgenössische Musik für Sie als Lärmbelästigung. Die oftmals quantitativ stärkere akustische Belastung spielte nur eine untergeordnete Rolle, das Entscheidende waren die musikalischen Faktoren (Schockwirkungen, Sinnwidrigkeit) sowie die speziellen Konfliktsituationen, in die der einzelne Musiker durch die Ausübung zeitgenössischer Werke geriet. Nicht allein Intensität und Dauer der Arbeit mit zeitgenössischer Musik ist für das Auftreten psychischer und körperlicher Symptome ausschlaggebend, sondern auch nach längerer Erholung und schon nach kurzen Proben können sie schlagartig und ausgeprägt auftreten.

1005 Arbeiter der deutschen Hüttenindustrie wurden medizinisch und psychologisch 1959 von Jansen untersucht (Jansen, 1959). 669 Arbeiter waren in Betrieben beschäftigt, die einen starken Lärmeinfluss aufwiesen und 336 Arbeiter in einem ruhigen Betrieb.

Bei der Zwischenauswertung nach 201 Arbeitern ergab sich, dass bei Lärmarbeitern häufiger Symptome und Befunde vegetativer Funktionsstörungen auftraten als bei Arbeitern aus ruhigen Betrieben. Ganz bestimmte Symptome standen dabei im Vordergrund.

Blutuntersuchungen und objektive psychologische Verfahren ließen keinen Lärmeinfluss erkennen. Auch die Gesamtauswertung bestätigte die Vorergebnisse. Bei Lärmarbeitern traten statistisch signifikant vermehrt Gefäßstörungen an den Extremitäten, Hautbefunde (Abblassungen) und Herzbefunde (Rhythmusstörungen, Tachykardien, Extrasystolen) auf. Allgemeine mechanische Erregbarkeit, Mund- und Rachensymptome bzw. -befunde und Gleichgewichtsstörungen schienen ebenfalls bei Lärmarbeitern vermehrt vorzukommen. Symptome, die das Tagesbefinden und die Wetterfühligkeit betreffen, schienen bei den Stark-Belärmten vermehrt aufzutreten.

Außerdem fielen Lärmarbeiter durch ihre besondere psychische Labilität auf. Die Lärmarbeiter wiesen vermehrt Spannungen im häuslichen und betrieblichen Klima auf, obwohl sie wohnungsgemäß und wirtschaftlich keineswegs in einer benachteiligten Lage gegenüber den Arbeitern der schwach-belärmten Gruppe waren.

Es wurden nur Leute untersucht, die länger als 3 Jahre unter den gleichen Bedingungen arbeiteten und nur Männer zwischen 20 und 60 Jahren. Das mittlere Lebensalter der untersuchten Arbeiter lag bei 42 Jahren. Alle Arbeiter waren durchschnittlich 11,2 Jahre an ihrem Arbeitsplatz.

Somit dürfte bewiesen sein, dass Gefäßstörungen, Hautbefunde und Herzbefunde im angegebenen Sinne bei Lärmarbeitern durch Lärm verursacht sind und als „lärmbedingte“ Symptome bzw. Befunde angesprochen werden dürfen. Durch die vorliegende Untersuchung dürfte bewiesen sein, dass durch Lärm das gesamte vegetative Nervensystem beeinflusst wird und Funktionsstörungen auftreten. Dass direkte organische Befunde signifikant häufiger bei Schwach-Belärmten auftreten, ist ein Zeichen für die größere Widerstandskraft von Lärmarbeitern.

In einer Studie von Moller sollte herausgefunden werden, ob es Unterschiede in der Ausführung von Aufgaben gibt, während Musiker Stille oder einem intermittierendem Lärmstimulus ausgesetzt sind (Moller, 1980).

Die Stimuli waren Lärm standardisierter oder variierender Intensität, alternierend mit Perioden von Stille. Eine Kontrollgruppe bekam keinen auditorischen Stimulus.

Eine Aufgabe mit 235 Additions- und Subtraktionsproblemen wurde konstruiert.

Insgesamt nahmen 30 Musikstudenten, die in 3 Gruppen aufgeteilt wurden, an der Studie teil. Gruppe A hörte über Kopfhörer 2 Minuten Stille, auf die 1 Minute Musik abwechselnd mit 1 Minute Stille für eine Gesamtdauer von 16 Minuten gespielt wurde. Der Schallpegel betrug hierbei zwischen 55 und 85 dB.

Gruppe B folgte dem gleichen alternierenden Procedere wie Gruppe A mit weißem Rauschen bei 70 dB. In der Gruppe C wurde über Kopfhörer kein auditorischer Stimulus gegeben.

Die Varianzanalyse ergab keinen signifikanten Unterschied in der Ausführung zwischen den Gruppen oder zwischen den beschallten und der Kontrollgruppe, obwohl einige Musiker angaben, dass die Beschallung bei der zu lösenden Aufgabe nervig und störend war.

Variierende Schallbedingungen verursachten keine Verschlechterung bei der Lösung der simplen arithmetischen Aufgaben bei den Musikern, wie sie es bei der generellen Bevölkerung verursachen würden.

Musikalisches Training erhöht vielleicht die Spanne der Aufmerksamkeit oder der Konzentration unter ungünstigen Schallbedingungen.

Außer den vegetativen und allgemeinen Symptomen, die durch eine affektive Kopplung ausgelöst wurden, konnte auch ein Zusammenhang mit dem Ohr festgestellt werden.

In einer Studie von Swanson und seinen Mitarbeitern sollte der Einfluss der subjektiven Faktoren auf die TTS nach Lärm- und Musikexposition geklärt werden (Swanson et al., 1987). Zwanzig männliche Studenten mit einem normalen Gehör, keiner vorhergehenden Ohrerkrankung, keinem Bluthochdruck, keiner regelmäßigen Medikation und keiner vorherigen Teilnahme an einer Lärmstudie. Alle Probanden waren Nichtraucher und wurden gebeten, vor dem Test keinen Alkohol oder Drogen zu sich zu nehmen.

Zehn Probanden mochten Pop-/Rockmusik und zehn mochten diese Musikrichtung nicht. Alle Probanden hatten eine Hörschwellenverschiebung von  $\leq 20$  dB, einen bds. auslösbaren bilateralen Stapediusreflex und ein normales bilaterales Tympanogramm.

Die Musik- und Lärmaufnahmen, die verwendet wurden, waren die gleichen wie bei der Studie von Lindgren und Axelsson 1983.

Beide Aufnahmen wurden mit einem Schallpegel  $L_{eq}$  von 106 dB abgespielt. Jeder Proband wurde zur gleichen Tageszeit bei zwei Gelegenheiten in einem 48 h Intervall getestet. Bei der einen Session war der Proband 10 Minuten dem Lärm ausgesetzt, bei der anderen der Musik.

Es gab keine signifikanten Unterschiede bei der Testung der initialen Hörschwelle bei 4 und 6 kHz.

Die Probanden, die angaben, diese Musik nicht zu mögen, hatten mehr TTS bei der Musik als beim Lärm bei 6 kHz, während die Musikfans mehr TTS beim Lärm aufwiesen.

Wahrscheinlich liegt die Erklärung dieses Phänomens nicht darin, dass weniger TTS verursacht wird, wenn man Musik mag, sondern dass die Erholungszeit des Gehörs weniger ist.

### 3.5 Olivocochleäre efferente Suppression bei Musikern

Brashears und Mitarbeiter untersuchten 2003 die olivocochleäre efferente Suppression bei klassischen Musikern (Brashears et al., 2003). Dafür wurden bei 29 Orchestermusikern und 28 Kontrollpersonen, verteilt nach Geschlecht und Alter, otoakustische Emissionen gemessen.

Ein beidseitiges Breitbandgeräusch wurde als Suppressor-Stimulus benutzt.

Musiker haben bds. signifikant mehr Suppression als Nicht-Musiker. Zwei Erklärungen für diesen funktionellen Unterschied: moderat laute Musik stellt einen Konditionsstimulus dar oder Musik stellt einen Mechanismus zur Verstärkung der zentralen Hörbahn dar. Auch der Stapediusreflex war in einigen Frequenzen bei den Musikern höher als bei den Nichtmusikern.

### 3.6 Exkurs: Soziakusis

Besonders hohe Lärmpegel finden sich heutzutage an Arbeitsplätzen in der Industrie und im Handwerk und in der sog. Musikszene, zu der das Musikhören über Kopfhörer sowie verstärkte Musik aus Lautsprechern, in Konzerten und in Diskotheken gehören.

Hier besteht vor allem in der jungen Generation die Gefahr eines Lärmschadens durch Musik und infolge zunehmender Hörbehinderung der Verlust der Fähigkeit zum sprachlichen Ausdruck.

Lärmbelastungen im täglichen Leben führen zum Untergang von äußeren Haarzellen oder gewähren dem Cortischen Organ keine genügende Erholungszeit.

Auch ärztliche Maßnahmen führen gelegentlich zu Hörverlusten, z. B. durch die beim MRT entstehenden Knallereignisse, die 103 dB erreichen können. Akute Hörschäden werden auch nicht selten nach audiometrischen Untersuchungen geklagt, wenn bei automatisiertem Messvorgang oder durch Unachtsamkeit des Untersuchers Lautstärken angewandt werden, die die Unbehaglichkeitsgrenze überschreiten.

Auch Alltagsgeräusche, wie Verkehr, Haushaltsmaschinen, Elektrorasierer, Haarföhne, Heimwerker, Rasenmäher oder Bohrmaschinen gefährden das Gehör.

Auch Kinderspielzeug und das Aufdrehen des Autoradios sowie der Fahrtwind auf dem Motorrad erreichen über 100 dB. Spielzeugwaffen erzeugen mehr als 135 dB und Feuerwerkskörper zwischen 160 und 175 dB.

Besonders für kleine Kinder ist die ständige Musikberieselung gefährlich, denn in den ersten Lebensjahren erfolgt eine wichtige Reifungsphase der zentralen auditiven Bahnen und Verarbeitungszentren (Plath, 1998).

Zur Regeneration des Gehörs nach Lärmexposition gehört unbedingt die Einhaltung einer täglichen Erholungszeit des Gehörs von mind. 10h mit einem Schalldruckpegel von deutlich unter 70 dB(A).



Diese Erholungszeit ist nicht gegeben, wenn das Ohr in der Freizeit zusätzlich Lärm in Form von Diskothekenbesuchen, Kopfhörern, Autoradios, Open-Air-Konzerten etc. ausgesetzt ist.

Bei Schallpegelmessungen in Diskotheken wurden Mittelungspegel zwischen 92 und 100 dB(A) festgestellt. Dabei steigen die Pegel über die Nacht sogar noch um knapp 2 dB(A)/Stunde an. Außerdem nehmen Diskothekenbesuche unter den heutigen Jugendlichen deutlich zu. Knallereignisse in der Freizeit stellen reine Impulslärmquellen dar.

Beim Musikhören über Kopfhörer in der Freizeit werden die Geräte nach neuesten Umfragen besonders laut gestellt. Bei den meisten Jugendlichen beträgt der mittlere Einstellpegel bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen 83 dB(A). Bei besorgniserregenden 10 % steht der Wunschpegel bei 100 dB(A). Jungen stellen dabei vergleichsweise häufiger hohe Schallpegel ein als Mädchen. Lautes Musikhören wird von Schülern zur Verdrängung von Problemen und Frustrationen eingesetzt. Je schlechter der Schultyp, desto häufiger und desto lauter wird die Musik gehört (Zenner, 1999).

### **3.7 Studienlage bei Musikern**

Im Folgenden werden alle Studien, die für das Thema Hörprobleme bei Musikern relevant sind, dargestellt und beurteilt. Der Anhang enthält eine umfangreiche Tabelle aller Studien.

*Arnold und Miskolczy-Fodor* untersuchten im Jahr 1960 30 von 150 Pianisten, um herauszufinden, ob Musiker gehörschädigenden Schallintensitäten ausgesetzt sind. Die Probanden wurden in verschiedene Altersgruppen eingeteilt (10 Männer im Alter zw. 60-69 Jahren, 10 Frauen im Alter zw. 60-69 Jahren und 10 Frauen im Alter zw. 70-80 Jahren), sie setzten sich aus Profimusikern, die täglich etwa 4 Stunden der Musik ausgesetzt waren und Musiklehrern, die an 5-6 Tagen in der Woche 6-7 Stunden unterrichteten oder selbst spielten, zusammen. Bei den Probanden wurden folgende Befunde erhoben: Alter, Krankengeschichte, Medikamentenanamnese, HNO-ärztliche Untersuchung, Audiogramm. Bei durchgeführten Lautstärkemessungen, die seitlich am geöffneten Klavierdeckel, am Platz des Sängers und am Kopf des Pianisten gemessen wurden, fand man Durchschnittsschallpegel von 70-90 dB, die aber selten die 85-dB-Grenze überschritten. Die Maximalpegel lagen zwischen 64-95 dB. Die größte Schallintensität wurde bei 261-523 Hz gemessen. Die Audiogramme wurden anhand von Mittel- und Medianwerten des Hörverlustes verschiedener altersklassierter Referenzpopulationen beurteilt. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass Pianisten ein besseres altersentsprechendes Gehör aufwiesen als die Allgemeinbevölkerung und Männer generell schlechter hören als Frauen. Ihrer Meinung nach sei es unwahrscheinlich, durch die gemessenen Lautstärken eine Hörschädigung zu erleiden (Arnold und Miskolczy-Fodor, 1960).

*Flach und Aschoff* untersuchten 1966 277 Orchestermusiker aus einem Symphonie- und Opernorchester; darunter 202 Probanden < 49 Jahren und 75 Probanden > 50 Jahren. Bei den Schallpegelmessungen, die in großer Besetzung neben den Bratschen durchgeführt wurden, lag der gemessene Maximalpegel zwischen 95 und 120 DIN-Phon im Orchesterraum. Die Pegel wurden generell in DIN-Phon und nicht in dB(A) angegeben, außerdem wurden keine Mittelungspegel berechnet. Bei der Analyse der Tonaudiogramme der Musiker, die nie nach Proben oder Konzerten durchgeführt wurde, fanden sich gering- bis mittelgradige Schallempfindungsstörungen bei 14,5 % der Streicher, bei 8,5 % der Holzbläser und bei 2,2 % der Blechbläser. Dabei ergaben sich keine Unterschiede im durchschnittlichen Hörvermögen der verschiedenen Instrumentengruppen. Allerdings zeigten Geiger eine höhere Schallbelastung am linken als am rechten Ohr, geringe Innenohrschäden in höheren Frequenzen waren bei Streichern häufiger als bei Blechbläsern. Acht Geiger (von 111) wiesen eine linksseitige C<sub>5</sub>-Senke, ein Flötist (von 14) eine rechtsseitige C<sub>5</sub>-Senke auf. Bei insgesamt 44 Musikern wurden gering- bis mittelgradige Innenohrschäden festgestellt, wobei bei einem Teil der Patienten eine stärkere Lärmeinwirkung durch Lärmarbeit, Schädel-Hirn-Traumata und Militärdienst nicht ausgeschlossen werden konnte. Diese Personen wurden nicht in die Auswertung mit einbezogen. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die Möglichkeit einer berufsbedingten Lärmschwerhörigkeit im eigentlichen Sinn nicht bestehe (Flach und Aschoff, 1966).

*Lebo und Oliphant* untersuchten im Jahr 1968 Musiker eines Symphonieorchesters und zweier Rock´n´Roll Bands. Die vorgenommenen Schallpegelmessungen ergaben im Symphonieorchester eine Schallenergie zwischen 500-4000 Hz mit einer maximalen Lautstärke von 90 dB(A) und bei den Rock´n´Roll Bands eine Schallenergie zwischen 250-500 Hz mit einer maximalen Lautstärke von 110 dB(A). Die Messungen in dB(A) fanden bei den Streichern in der Nähe des Dirigentenpultes im leeren Konzertsaal statt. Die Autoren kamen letztlich zu dem Ergebnis, dass die von einem Symphonieorchester erzeugten Schalldruckpegel unterhalb der gehörschädigenden Grenze liegen. Bei Rockgruppen hingegen sei die Gefahr eines Hörverlustes größer, da sie höhere Schalldruckpegel erreichten und der Schall in den Locations der Bands stärker zurückgeworfen werde (Lebo und Oliphant, 1968).

*Rintelmann und Borus* untersuchten im Jahr 1968 42 Musiker aus sechs Rock´n´Roll Bands in 4 verschiedenen Locations bei 44 Veranstaltungen. Im Mittel waren sie 19 Jahre alt und 11,4 Stunden pro Woche über 2,9 Jahre hinweg der Musik ausgesetzt. Bei den Schallpegelmessungen, die im Abstand von 5-60 Fuß von Bühnenmitte entfernt durchgeführt wurden, wurde ein Schalldruckpegel von 105 dB erreicht. Die größte gemessene Intensität lag bei 63-2000 Hz. Das akustische Spektrum erstreckte sich mit relativ flachem Verlauf über den unteren und mittleren Frequenzbereich und schwächte sich oberhalb von 2000 Hz allmählich ab. Bei der Hörprüfung, die erst nach 48 Stunden Spielpause durchgeführt wurde, konnte bei 5 % der Musiker ein Hörverlust gefunden werden (Rintelmann und Borus, 1968).

*Berghoff* untersuchte im Jahr 1968 65 Musiker aus einem Rundfunkorchester (30) und aus einer Big Band (35). Im Allgemeinen waren sie täglich 3,5 Stunden der Musik im Ensemble ausgesetzt, was sich inklusive des Übens auf eine tägliche Exposition von 5 Stunden summierte. Nach 90 min Orchesterprobe wurde eine Pause von 30-45 min eingelegt, danach wurde wieder weitere 2 Stunden geübt. Als Kriterium für die Beurteilung der Audiogramme galt der dekadische altersbedingte Hörverlust. Die Audiogramme wurden zu verschiedenen Tageszeiten, aber mindestens 15 Minuten nach Probenende durchgeführt. Bei den Musikern wurde eine gründliche Anamnese erhoben und sie wurden otologisch voruntersucht. Bei 24 Musikern ergaben sich Hörminderungen ab 4000 Hz, aber nur um wenige Dezibel (im Einzelfall jedoch bis zu 31 dB bei 4 kHz). Bei 8 Musikern zeichnete sich ein erheblicher Hörverlust, besonders bei 4000 Hz ab. Alle 8 Musiker spielten Trompete, Posaune oder Schlagzeug oder saßen direkt vor diesen Instrumentengruppen. Im Allgemeinen ergab sich keine Seitendifferenz bei den Hörminderungen. Daher kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass regelmäßiges berufliches Musizieren nur dann hörschädigend sei, wenn der Berufsmusiker den lautstarken Blechblasinstrumenten und dem Schlagzeug ausgesetzt sei, und auch dann sei der Hörverlust nur gering und auf ein schmales Frequenzband bei 4000 Hz beschränkt. Die individuelle Empfindlichkeit sei weit wichtiger als das Ausmaß der Belastung (Berghoff, 1968).

*Speaks* und Mitarbeiter untersuchten im Jahr 1970 54 Rockmusiker aus 10 Rock'n'Roll Bands. Schallpegelmessungen wurden bei jeder der 10 Bands, sowohl auf der Bühne als auch auf der Tanzfläche, durchgeführt. Die jeweiligen Auftritte dauerten < 4h, dabei ertönte nur Musik während 120-150 min/Auftritt. Bei den Messungen ergaben sich Schalldruckpegel bei allen Bands von 105-120 dB. Es gab nur minimale Veränderungen des Schalldruckpegels bei verändertem Messpunkt. Die größten Intensitäten fanden sich bei 125-4000 Hz. Auf der Tanzfläche lag der Pegel um 10 dB niedriger als auf der Bühne. Die Audiogramme wurden 1-2 Stunden vor der Abendshow und 20-40 Minuten nach einer Vorstellung vorgenommen. Eine Hörschwellenverschiebung wurde bei 25 der 54 Musiker gefunden. Bei 50 % ergaben sich temporäre Hörschwellenverschiebungen (TTS) von 7-8 dB nach dem Auftritt, bei 6 Musikern permanente Hörschwellenverschiebungen (PTS). 12 der 25 Musiker mit TTS zeigten eine TTS > 10 dB bei einer Frequenz (4 oder 6 kHz meistens). Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass Rock'n'Roll Musik potenziell gehörschädigend sei, jedoch nur bei Musikern mit empfindlichem Gehör und nur nach jahrelanger Exposition (Speaks et al., 1970).

*Jerger* und Mitarbeiter untersuchten im Jahr 1970 9 Rock'n'Roll Musiker, die sie in 2 Gruppen aufteilten. Gruppe A bestand aus 5 männlichen Musikern im Alter zwischen 17 und 23 Jahren, Gruppe B aus 4 männlichen Musikern im Alter zwischen 14 und 15 Jahren. Gruppe A probte 3 x pro Woche 4,5-5 Stunden seit 2 Jahren und Gruppe B 1-2 x pro Woche 4 Stunden seit 1 Jahr. Die Messpunkte der Schallpegelmessungen lagen im Zentrum der Gruppen und auf der Seite der Bühne. Es ergaben sich Schalldruckpegel zwischen 104-124 dB und ein Mittelungspegel von 110-120 dB. Die größten

Intensitäten fanden sich bei 300-1200 Hz. Schalldruckspitzen erreichten Werte bis 130 dB. Der äquivalente Dauerschallpegel galt für das Frequenzband 600-1200 Hz. Es wurden jeweils zwei Audiogramme durchgeführt, eines vor den Konzerten (mind. 48 Stunden nach einer Musikexposition) und eines innerhalb 1 Stunde nach Konzertende. Es fanden sich temporäre Hörschwellenverschiebungen von über 15 dB in mindestens einer Frequenzlage zwischen 2000 und 8000 Hz bei 8 von 9 Musikern (TTS). Bei 3 Musikern der Gruppe A fanden sich im Audiogramm, das vor Exposition durchgeführt wurde, permanente Hörverluste zwischen 30 und 70 dB bei 2000 Hz. Vier der fünf Mitglieder der Gruppe A litten an einer vorübergehenden Hörschwellenverschiebung (TTS). Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass Rock´n´Roll Musik eine ernsthafte Bedrohung für das Ohr darstelle (Jerger et al., 1970).

*Smitley und Rintelmann* untersuchten im Jahr 1971 40 Probanden, darunter 20 Männer und 20 Frauen im Alter zwischen 18,6 Jahren und 24,9 Jahren (mittleres Alter: 21,6 Jahre). Es wurde ein Schalldruckpegel von 110 dB gemessen. Alle Probanden hatten ein normales Gehör, Probanden mit einem Hörverlust von mehr als 20 dB wurden von der Studie ausgeschlossen. Die Audiogramme wurden in einer Hörprüfkabine mit Doppelwand durchgeführt. Das Präexpositionsaudiogramm wurde monoaurikulär durchgeführt, danach wurden die Probanden mit Rock´n´Roll Musik mit einem Schalldruckpegel von 110 dB für 60 Minuten beschallt. Ein Musik-Band wurde kontinuierlich abgespielt, das andere mit 4-6 Minuten „on-times“ und dazwischen 30 Sekunden „off-times“. Die Postexpositionsaudiogramme wurden ebenfalls monoaurikulär am gleichen Ohr durchgeführt. Das erste postexpositionelle Audiogramm wurde nach 2 Minuten durchgeführt, das 2., 3. und 4. nach 30, 60 und 90 Minuten. Untersucht wurde der Unterschied zwischen kontinuierlichem und intermittierendem Schall mit Rockmusik. Rock´n´Roll Musik produzierte eine TTS. Die größte TTS fand sich bei 4000 Hz. Die Durchschnitts-TTS bei 4000 Hz nach 2 Minuten betrug 27,4 dB für den kontinuierlichen Schall und 24,5 dB für den intermittierenden. Bei allen Frequenzen und bei allen Erholungszeiten entstand beim kontinuierlichen Schall ein größeres TTS als beim intermittierenden. Die größten Unterschiede fanden sich bei 3000 Hz nach 90 Minuten. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen Männern und Frauen. Unter beiden Expositionsbedingungen zeigten manche Probanden ein sehr kleines TTS, während andere mehr als 30 dB Hörverlust aufwiesen, vor allem in der Hochfrequenzregion von 2000-8000 Hz. Bei 65-70 % der Probanden resultierte aus der Beschallung mit Musik in beiden Expositionsbedingungen eine temporäre Hörschwellenverschiebung. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass Rock´n´Roll Musik eine potenzielle Gesundheitsgefahr für junge Leute darstelle (Smitley und Rintelmann, 1971).

*Redell und Lebo* untersuchten im Jahr 1972 43 von 50 Hardrockmusiker und Zuhörer, darunter 39 Männer und 4 Frauen (mittleres Alter: 22,2 Jahre). Im Mittel übten sie ihren Beruf 1-6 Jahre aus. 7 Probanden mussten wegen Ohrpathologien oder einer vergangenen Lärmanamnese ausgeschlossen werden. Bei allen Probanden wurde ein Tonaudiogramm durchgeführt, welches mindestens 12

Stunden nach Musikexposition durchgeführt wurde. Das durchschnittliche Audiogramm der 43 Probanden zeigte ein normales Gehör bis 2000 Hz mit einer Senke unterhalb von 8000 Hz, mit dem größten Hörverlust bei 6000 Hz. Auch die zwei Zuhörer, die getestet wurden, hatten eine Senke bei 6000 Hz. Alle Musiker berichteten von Tinnitus nach Proben und Konzerten. 10 Probanden hatten chronische Ohrprobleme, 8 konnten keine genauen Angaben machen und 25 Musiker hatten keine Beschwerden. 6 Musiker hatten vorher schon einmal Erfahrung mit Gehörschutz gemacht. Der Gehörschutz brachte einen Schutz von 20-30 dB von 250-8000 Hz. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass Lautstärkereduktion das Risiko einer Gehörschädigung sowohl bei Musikern als auch bei Zuhörern verringern würde (Redell und Lebo, 1972).

*Rintelmann und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1972 20 weibliche College-Studenten im Alter zwischen 18,11 Jahren und 22,6 Jahren (im Mittel 20,10 Jahre). Jede Probandin wurde kontinuierlichem und intermittierendem Schall ausgesetzt, jeweils unterbrochen von einer Woche Pause dazwischen. Prä- und Postexpositionsaudiogramme wurden nur auf einem Ohr durchgeführt, allerdings jeweils auf demselben. Das erste Postaudiogramm wurde 2 min nach Exposition gemessen (TTS<sub>2</sub>). Das zweite, dritte und vierte wurde nach 30, 60 und 90 Minuten gemessen. Ein Tonband, dieselbe Aufnahme wie bei der ersten Studie von Smitley und Rintelmann 1971, wurde kontinuierlich ohne Pausen für 60 Minuten abgespielt (mit SPL von 110 dB). Das zweite Tonband war eine Kopie des ersten, allerdings mit Pausen von 1 min zwischen jedem 3 Minutenstück für insgesamt 80 Minuten (mit SPL von 80 dB). Daraus ergaben sich 60 Minuten Musik und 20 Minuten Pause. Das Frequenzspektrum der Musik lag zwischen 250 und 2000 Hz. Untersucht wurde der Unterschied auf das Gehör zwischen kontinuierlicher und intermittierender Rock'n'Roll Musik. Dabei wurden Schalldruckmessungen vorgenommen, bei denen der SPL bei 110 dB lag. Die Audiogramme wurden in einer Hörprüfkabine mit Doppelwand durchgeführt. Die durchschnittliche TTS über alle 6 Frequenzen war bei der kontinuierlichen Exposition größer als bei der intermittierenden. Die Erholungszeit bei der TTS war bei kontinuierlichem Schall kürzer. Die größte TTS fand sich bei 3000 – 6000 Hz mit einem Peak bei 4000 Hz. Die Erholungszeit des Gehörs korrelierte mit der Frequenz.

Die Ergebnisse wurden mit denen einer früheren Studie von Smitley und Rintelmann (1971) verglichen, in der für den kontinuierlichen Schall die gleichen Bedingungen herrschten. Im Vergleich zu der früheren Studie fanden sich sehr ähnliche Ergebnisse. Ein Ausschluss von der Studie erfolgte bei folgenden Kriterien: Hörverlust mehr als 25 dB, pos. Familienanamnese, Mittelohrpathologie, Waffenlärm, großer Umwelt-/Freizeitlärm, Exposition zu Rockmusik in den letzten 48 Stunden vor Studienbeginn. Verglichen mit den vorhergesagten Erholungszeiten des Gehörs von Ward et al. 1958 stimmten die hier gemessenen TTS mit denen überein. Die individuellen TTS schwankten erheblich unter den beiden Expositionsarten, manche zeigten sehr kleine TTS, manche bis zu 30 dB. 80 % der Probanden überschritten beim kontinuierlichen Schall die Schadenskriterien von 20 dB und 55 % der Probanden beim intermittierenden Schall. Die Oktavband-Formeln, um die TTS vorherzusagen, schienen bei diesem Typ von Musik die bessere Methode als die Breitband-Formel zu sein. Die Autoren

kamen zum Schluss, dass bei Frequenzen unter 4000 Hz der kontinuierliche Schall bei 35 % der Probanden und beim intermittierenden Schall bei 20 % gesundheitsgefährdend sei (Rintelmann et al., 1972)

*Flach und Aschoff* untersuchten im Jahr 1972 506 Musiker: darunter 277 Berufsmusiker, 144 Musikstudenten und 85 Schüler einer Jugendmusikschule. Es wurden Spitzenintensitäten beim Tutti in großer Besetzung bis zu 120 dB gemessen. Bei den Berufsmusikern litten 14 Personen an Schallleitungsstörungen, bei den Musikstudenten wies ein Proband eine chronische Mittelohrweiterung auf. Es zeigte sich bei 16 % eine Innenohrschwerhörigkeit oberhalb der Alterserwartung, bei 4 % musste man die Musik als Ursache vermuten. Es ergaben sich keine Unterschiede zwischen Instrumentengruppen. Das Auftreten einer durch Musik bedingten beruflichen Lärmscherhörigkeit wird in dieser Studie für wenig wahrscheinlich gehalten (Flach, 1972).

*Jatho und Hellmann* untersuchten im Jahr 1972 65 Berufsmusiker, darunter 30 Musiker aus einem Rundfunkorchester und 35 aus einem Rundfunk-Tanzorchester (Big Band). Die Musiker waren zwischen 24 und 62 Jahren alt und spielten täglich 4-7 Stunden, davon 3,5 Stunden in der Orchestergemeinschaft. Ihren Beruf übten sie in der Regel zwischen 11 und 41 Jahren aus. Die durchgeführten Lautstärkemessungen erreichten Werte bis 120 dB(B) als Gesamtpegel. Die Pegelwerte vor den Blechblasinstrumenten lagen in 1m Distanz am Kopf des nächstsitzenden Musikers um 2-3 dB(B) höher. Zur Analyse wurden Terzsiebanalyse und Lärmbewertungskurve nach ISO verwendet. Die audiometrischen Messungen wurden, soweit möglich, 15 min nach Arbeitsschluss durchgeführt. Für die Beurteilung der Audiogramme wurde der dekadische altersbedingte Hörverlust herangezogen. Ein großer Teil der Musiker verfügte über ein mit ansteigender Frequenz zunehmend besseres Schwellengehör als das der Altersnorm. Ein Drittel (24 Musiker) hatte Schwellenhörverluste besonders im oberen Frequenzbereich. Bei 5 Musikern fanden sich deutliche, fast seitengleiche C<sub>5</sub>- bzw. Hochtonsenken und dies fast ausschließlich bei Musikern der Big Band. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass sich organische Hörschädigungen bei Berufsmusikern nicht für den Einzelfall voraussagen lassen und hoben die Bedeutung der individuellen Lärmempfindlichkeit hervor (Jatho und Hellmann, 1972).

*Chüden und Strauss* untersuchten im Jahr 1974 14 Discjockeys, deren durchschnittliche Berufsdauer zwischen 1 und 10 Jahren lag. Bei Lärmpegelmessungen in 20 Diskotheken einer westdeutschen Großstadt fand man folgende Bewertungsschallpegel: in 3 Diskotheken über 90 dB(A) [91-98 dB(A)], in 8 Diskotheken zwischen 80 und 90 dB(A), und in 9 Diskotheken < 80 dB(A). Der Beurteilungspegel für 80 % der Diskotheken wurde unter Abzug von 7-8 dB(A) aufgrund eines negativen Expositionstests ermittelt. 7 Discjockeys wiesen normale Audiogramme auf (Berufsdauer 1-6 Jahre), bei 7 DJ's zeigten sich Innenohrschäden, bei denen 5 Hochtonsenken als lärmbedingt anzusehen waren (Berufsdauer 3,5-10 Jahre). Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass eine Lärmschädigung des

Innenohres durch Diskothekenlärm als möglich anzunehmen sei, das Ausmaß dieser Schädigung sei jedoch gering (Chüden und Strauss, 1974).

*Zeleny und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1975 118 Mitglieder zweier Militärblasorchester. Diese hatten ein mittleres Alter von 40 Jahren. Die gemessenen Schallpegel lagen bei Werten von 94-114 dB(A) und 99-120 dB. Die Messungen wurden in dB(A) und in dB durchgeführt. Kriterien für eine normale Beurteilung der Audiogramme war ein Hörverlust < 20 dB in allen Frequenzen. Ein Hörverlust von mehr als 20 dB bei mindestens einer Frequenz wurde bei 85 von 118 Personen (72 %) beobachtet, meistens in höheren Frequenzen. Die Frequenzen des Hauptsprachbereiches waren bei 6 % betroffen (Zeleny et al., 1975).

*Siroky und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1976 76 Musiker aus einem Symphonieorchester; das mittlere Alter lag bei 38 Jahren. Die Exposition lag bei 4 h/Tag. Bei Schallpegelmessungen wurde der Mittelungspegel von 87-98 dB(A) erreicht. Hörverluste wurden bei 20 % der Holzbläser, 28 % der Blechbläser, 7 % der Streicher und bei allen Schlagzeugern gefunden. Kein Hörverlust fand sich bei Musikern, die weniger als 10 Jahre berufstätig waren, dagegen aber bei 42 % der Musiker mit mehr als 20 Jahren Berufserfahrung (Siroky et al., 1976).

*Gryczynska und Czyzewski* untersuchten im Jahr 1977 51 von 90 Mitgliedern eines Symphonieorchesters im Alter zwischen 19 und 62 Jahren; diese waren einem Schallpegel von 86-108 dB(A) ausgesetzt. Kriterien für die Beurteilung „normal“ der Audiogramme war ein Hörverlust < 25 dB in allen gemessenen Frequenzen. 35 Musiker wiesen Hörschäden auf, beidseits normales Hörvermögen zeigte sich bei 16 von 51 Musikern. 5 Musiker hatten ein normales einseitiges Gehör, bei allen anderen war der Hörverlust beidseits. 11 Musiker hatten nach Meinung der Autoren einen klar lärminduzierten Hörverlust (Gryczynska und Czyzewski, 1977).

*Axelsson und Lindgren* untersuchten in den Jahren 1977/1978 und 1981 83 Probanden; darunter 69 Popmusiker, 5 Tontechniker, 4 Discjockeys, 4 Manager und 1 Bühnentechniker. Das mittlere Alter lag bei 26,5 Jahren. Im Durchschnitt hatten die Musiker 9,3 Jahre 18,3 Stunden pro Woche in ihrem Beruf gearbeitet. Hierbei wurden Schalldruckspitzenpegel bis 123 dB(A) gemessen. Der Dauerschallpegel  $L_{eq}$  lag für Musiker bei 103 dB(A), für Zuhörer bei 99 dB(A). 38 Probanden wiesen in den Audiogrammen eine Innenohrschwerhörigkeit über 20 dB auf einem Ohr und bei einer Frequenz auf. 25 Probanden (30 %) hatten demnach nach Alterskorrektur und unter Miteinbeziehung anderer Lärmtätigkeiten und angeborenen Hörschädigungen eine Innenohrhörstörung von > 20 dB. Insgesamt ließ sich ein Hörverlust bei 13- 30 % der Probanden bei 3-8 kHz nachweisen. Frauen hatten insgesamt ein besseres Gehör als Männer. 30 Popmusiker (alle männlich) und 18 Zuhörer (10 männlich, 8 weiblich) wurden speziell auf das Vorliegen einer TTS getestet: Die Dauer der Lärmeinwirkung war weniger entscheidend als die Lautstärke für die Ausbildung einer TTS. Die Popmusiker hatten in den

Audiogramme vor den Konzerten ein 5 dB schlechteres Gehör als die Zuhörer. Aber die Musiker hatten nach dem Konzert weniger temporäre Hörschwellenverschiebungen als die Zuhörer. Bei den Popmusikern trat die TTS bei 96 dB(A) auf, bei den Zuhörern bei 90 dB(A). Die Zuhörer hatten mehr TTS bei gleicher Exposition und die TTS bildete sich langsamer zurück. Bei den Zuhörern ergab sich ein Hörverlust von 6 kHz nach Exposition. Die männlichen Zuhörer hatten insgesamt einen größeren Hörverlust. Mit einbezogen in die Auswertung der Ergebnisse wurden das Alter, die Ableistung eines Militärdienstes, sonstige Lärmtätigkeiten und vorhergehende Ohrerkrankungen, die entweder angeboren oder erworben waren. Die Audiogramme wurden mittels der altersklassierten Medianwerte nach Spoor (1967) beurteilt. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass ein durchschnittliches Ohr für 30 Minuten pro Tag an fünf Tagen in der Woche Musik ausgesetzt sein könne, ohne ein Risiko für eine Hörstörung zu erleiden. Durch die mittlere Expositionszeit der Probanden von 18 Stunden bestehe allerdings ein definitives Risiko für einen Hörverlust, der aber im Durchschnitt nur gering sei. Für die Zuhörer sei das Risiko einer Hörstörung eher als gering einzuschätzen. Generell steige das Risiko eines Hörverlustes mit dem Alter, der Expositionszeit pro Woche und der Gesamtexposition (Axelsson und Lindgren, 1977/78/81).

*Irion* untersuchte im Jahr 1979 Musiker aus Symphonieorchestern, in Tonstudios, aus Big Bands, aus einem Rundfunkorchester, bei großen Tanzveranstaltungen, in Beat- und Rock'n'Roll Bands und in Diskotheken. 6-7 Stunden pro Tag spielten Orchestermusiker ihr Instrument, währenddessen 2,5-4 Stunden pro Tag Lautstärken von Irion gemessen wurden. 11,5 Stunden pro Woche spielten Amateure von Beat- und Rock'n'Roll Bands ihr Instrument und 20-30 Stunden pro Woche die Profis. Der Mittelungspegel im Symphonieorchester lag zwischen 70 und 90 dB(A). Der Schallpegelbereich bei Big Bands und Tanzveranstaltungen lag deutlich über 90 dB(A). Bei Beat- und Rock'n'Roll Bands lagen die ermittelten Schallpegel noch etwas höher als bei Big Bands, vermutlich bedingt durch die kleineren Räume, in denen sie spielten. In Diskotheken herrschten meist etwas niedrigere Schallpegel als bei „Live“-Musik. Erstaunlich hohe Schallpegel wurden bei geübten Sängern gemessen, die auch schon in Einzelfällen typische Hochtonsenken aufweisen. Bei 4 % der Musiker eines Symphonieorchesters konnte eine leicht- bis mittelgradige Innenohrschwerhörigkeit gefunden werden. Geiger litten gehäuft an einer linksseitigen Hörsenke. Die Grenzwerte wurden in Tonstudios bei Unterhaltungsmusik und bei Rock'n'Roll Musik beträchtlich überschritten. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass die Intensität, die Frequenzverteilung, Impuls- und Tonhaltigkeit, die Art der Musik, deren Verstärkung und die Gestaltung der Räume, die wöchentliche Exposition der Musiker und die Anzahl ihrer Berufsjahre wesentliche Bedeutung haben. Klassische Musik könne im Allgemeinen sowohl für Musiker als auch für Zuhörer als nicht gehörschädlich betrachtet werden. Ein geringer Teil der Musiker, insbesondere Geiger, entwickle im Laufe eines Berufslebens eine gering- bis mittelgradige Innenohrschwerhörigkeit (Irion, 1979).



*Frei* untersuchte in den Jahren 1979/1981 179 Berufsmusiker einer Konzert- und Opernformation, von denen 139 (78 %) an der klinischen Untersuchung teilnahmen und 97 (54 % des Gesamtbestandes und 68 % der Untersuchten) einen Fragebogen ausfüllten. Die Probanden waren im Alter zwischen 23 und 64 Jahren. Ihr Dienstalter betrug zwischen einem und 45 Jahren. Der gemessene äquivalente Dauerschallpegel  $L_{eq}$  vor der Trompete am Ohr eines Geigers betrug 94 dB(A) und 1m von der Pauke entfernt am Ohr eines Geigers 91 dB(A). Als Kriterium für die Beurteilung „normal“ der Audiogramme wurde ein Hörverlust  $< 25$  dB in allen Frequenzen definiert. 82 (59 %) Musiker hatten eine nachweisbare Hörstörung, bei 36,7 % bds. und bei 22,3 % einseitig. Bei einseitigen Hörstörungen fand sich der Hörverlust bei 51,8 % links und bei 45,3 % rechts. Bei 76 Probanden (54 %) fand sich eine Hochtonsenke. Bei 61 Musikern (43,9 %) muss eine berufsbedingte Höreinbuße angenommen werden. Bei 57 Orchestermusikern (41 %) mit normalem Hörvermögen fand sich wiederholt ein altersmäßig überdurchschnittliches Reintongehör. Zusätzlich wurden verschiedene körperliche Symptome bei lauten Orchesterpassagen von den Musikern angegeben: Pfeiftinnitus, Otagie und Hypakusis, Schwindelgefühle, Übelkeit, Kopfweh und Gereiztheit bei über 20 % der Musiker. 81 (84 %) der Befragten empfanden die Schallintensität bei lauten Orchesterpassagen als belastend. Als Quelle der belastenden Schallintensität wurden Blechblasinstrumente, Schlagzeug und Pauken angegeben (Frei, 1979 und 1981).

*Westmore und Eversden* untersuchten im Jahr 1981 34 Musiker aus einem Opern- und Symphonieorchester; die Schallpegelmessungen erreichten einen Maximalpegel von über 120 dB(A). Die Schalldruckmessungen erfolgten über einen Zeitraum von 14,4 Stunden. Dabei überstiegen die Pegel 90 dB(A) während 3,51 h und mindestens 110 dB(A) während 0,02 h. Die Messungen fanden in der Nähe der Holzbläser und des Dirigenten oder zwischen den Streichern statt. Es fand sich kein Unterschied zwischen Orchestergraben und Konzerthalle. Es wurden durchgeführt: Schallpegelmessungen, Audiometrie und Interviews. Das Interview umfasste Alter, Instrument, Lokalisation im Orchester und Dauer der Berufsausübung. Bei den Audiogrammen wurde nur ihre Form beurteilt. Es wurden weder Angaben zum  $L_{eq}$  gemacht, noch über den Zeitpunkt der Audiometrie. Bei 23 von 68 Ohren zeigten sich Veränderungen, die man auf einen lärminduzierten Schaden zurückführen kann. Die Mehrheit dieser Fälle zeigte nur wenige oder frühe Veränderungen. 4 Musiker hatten einen Hörverlust über 20 dB bei 4 kHz. 3 Musiker hatten eine Schallleitungsschwerhörigkeit bei vorbestehender Otitis media. Weder Alter noch Expositionszeit brachten statistisch signifikante Ergebnisse. Die Holzbläser hatten die meisten ernst zu nehmenden Hörverluste. Die Autoren fanden ein größeres Risiko für Musiker, die direkt vor den Schlagzeugern und Blechbläsern saßen (Westmore und Eversden, 1981).

*Folprechtova und Miksovská* untersuchten im Jahr 1981 54 und 46 Musiker zweier Opernorchester, ein Orchester mit 31 Musikern während einer Operaufführung einer klassischen Operette und ein Orchester aus 38 Musikern im Probenraum. Schallpegelmessungen wurden am Platz des Dirigenten

durchgeführt. Während der Oper erreichte das Orchester Pegel zwischen 88,7 und 90,3 dB(A) mit einem Maximalpegel  $L_{\max}$  von 108 und 104 dB(A), während der Operette 86,4 dB(A) mit einem Spitzenpegel von 102 dB(A) und im Probenraum 90,9 dB(A) mit einem Spitzenwert von 103 dB(A). Die höchsten Schallpegel wurden vor den Schlagzeugern gemessen, die einen  $L_{\text{eqv}}$  von 93,9 dB(A) aufwiesen und einen Maximalpegel  $L_{\max}$  von 109 dB(A). Die durchschnittliche tägliche Exposition lag bei 4 bis 6 Stunden. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass solche Lärmpegel Hörverluste verursachen können, wenn Musiker diesen Schallpegeln über längere Zeit ausgesetzt seien (Folprechtova und Miksovská, 1981).

*Axelsson und Lindgren* untersuchten im Jahr 1981 139 Musiker, darunter 72 aus einem Symphonieorchester, 48 aus einem Musiktheaterorchester und 19 Musiker im Ruhestand. Die Musiker, die im Durchschnitt 38,6 Stunden pro Woche übten oder unterrichteten und die im Mittel 25 Stunden pro Woche im Orchester spielten, wurden auf das Vorliegen eines Hörverlustes untersucht. Außerdem wurden mehrere Schalldruckpegelmessungen durchgeführt, der Mittelungspegel lag zwischen 83 und 92 dB(A), der Maximalpegel bei über 100 dB(A). Das Vorliegen eines Hörverlustes wurde dann konstatiert, wenn mehr als 20 dB Schwellenverschiebung auf einem Ohr und bei einer Frequenz nachweisbar war. Die Kriterien für die Beurteilung der Audiogramme richteten sich nach den altersklassifizierten Medianwerten  $\pm 15$  dB. Auch die Altersschwerhörigkeit wurde bei der Auswertung der Daten mitberücksichtigt. 80 Musiker hatten einen Hörverlust, bei 43 % (59 Musikern) ergab sich ein Gehör, das schlechter war, als für das Alter zu erwarten gewesen wäre. Außerdem zeigte sich bei asymmetrischen Hörstörungen, dass das linke Ohr schlechter hörte als das rechte. Musiker, die vor den Streichern spielten, hatten in ihrem rechten Ohr ein besseres Gehör, als man altersentsprechend annehmen würde. Streicher hatten einen durchschnittlichen Hörverlust von mehr als 20 dB bei 6 kHz, allerdings nur im linken Ohr. Holzbläser hingegen zeigten einen Hörverlust auf beiden Ohren, vor allem bei 6 und 8 kHz. Bei den Blechbläsern wurde der größte Hörverlust festgestellt, wobei angemerkt werden muss, dass die Blechbläser auch das höchste Lebensalter aufwiesen. Schlagzeuger zeigten den größten Unterschied zwischen dem Gehör des rechten und des linken Ohres. Insgesamt aber hatten die Schlagzeuger das beste Gehör. Ein erhöhtes Risiko für einen Hörverlust wiesen die Musiker auf, die Horn, Trompete, Posaune oder Fagott spielten. Im Allgemeinen hörten die männlichen Musiker schlechter als ihre weiblichen Kolleginnen. Weibliche Musiker hatten nur klassische Musik gespielt, männliche verschiedene Musikrichtungen. Eine vorübergehende Höreinbuße (Temporary Threshold Shift=TTS) trat bei Musikern nach Konzerten und nach dem Üben auf. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass Musik für das Gehör von Musikern gefährlich sein könnte, da sie erstens überschwellig laut und lange laut einwirke und zweitens, da die in ihrer Untersuchung beobachtete erhöhte Inzidenz der Hörverluste ätiologisch durch keine andere Ursache erklärt werden könne (Axelsson und Lindgren, 1981).

*Rabinowitz und Mitarbeiter* untersuchten 110 von 114 Mitgliedern eines Symphonie- und Opernorchesters, darunter 88 männliche und 22 weibliche Musiker. 38 Probanden waren unter 35 Jahre alt, 47 Probanden zwischen 36 und 50 Jahren und 25 Probanden über 50 Jahre alt. 58 Musiker wiesen ein normales Gehör auf, 52 dagegen hatten Hörverluste über 20 dB. Bei 30 Musikern konnte man für ihren Hörverlust andere Ursachen als die Musik finden (z.B. Ohrerkrankungen oder z.B. Schüsse als Knalltraumata in der Anamnese) (Rabinowitz et al., 1982).

*Karlsson und Mitarbeiter* publizierten 1983 eine Studie, die sie in den Jahren 1973/1974 und 1979/1980 als Follow-up-Studie durchführten. Insgesamt wurden 417 Orchestermusiker aus fünf professionellen Schwedischen Orchestern untersucht [337 männliche (mittleres Alter: 41 J.) und 55 weibliche (mittleres Alter: 37 J.)], davon 123 zu beiden Messzeitpunkten. 25 Musiker mussten wegen eines lärmunabhängigen Hörverlustes aus der Studie ausgeschlossen werden. Es gab keinen Unterschied im Hörvermögen von Musikern eines Symphonieorchesters zur Normalbevölkerung. Bei Flötisten fand man eine beidseitige Absenkung von 20 dB bei 6000 Hz. Bei den Bassisten dagegen zeigte sich eine linksseitige Absenkung des Hörvermögens im Hochtonbereich. Insgesamt konnte eine Seitendifferenz beider Ohren von 5 dB bei 6000 und 8000 Hz festgestellt werden, wobei das linke Ohr schlechter war als das rechte. Bei den Musikern, die früher beim Militär gespielt hatten, war das Gehör etwas schlechter. Die Altersschwerhörigkeit wurde nach Spoor berücksichtigt. Es fand sich im Beobachtungszeitraum von 6 Jahren bei den Musikern im Mittel keine über die normale Altersverschlechterung hinausgehende Hörverschlechterung. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass die musikalische Arbeit im Orchester nicht das Risiko einer Hörstörung steigerte, auch wenn einzelne sensible gehöreempfindliche Musiker einen Hörschaden erleiden konnten (Karlsson et al., 1983).

*Jansson und Karlsson* untersuchten im Jahr 1983 Musiker eines Symphonie- und Opernorchesters. Dazu wurden Schalldruckmessungen bei drei Konzerten, bei zwei Ballettaufführungen und bei Proben auf der Bühne und im Orchestergraben durchgeführt. Aufgenommen wurde mit 3-4 Mikrofonen, wobei zwei an exponierter Position und zwei an normaler Position aufgestellt wurden. Gemessen wurde am Ohr der Musiker in einem Abstand von 30-50 cm. Die Schalldruckmessungen ergaben Werte zwischen 65 und 125 dB(A). Der Mittelungspegel lag bei 75-99 dB(A) und der Maximalpegel bei 121-125 dB(A). Der äquivalente Dauerschallpegel war in den meisten Messungen um die 85 dB(A), in exponierter Position 93,1 dB(A), in normaler Position 88,9 dB(A). Das Intensitätsmaximum bei den Flöten lag bei 250-2000 Hz, bei den Hörnern bei 500-4000 Hz. Alle Daten wurden immer auf das Risikolevel von 85 dB(A) für Industrielärm bezogen, korrigierte man die wöchentliche Arbeitszeit eines Industriearbeiters von 100 % auf die eines Musikers auf die reelle Zeit von 65 %, ergab sich eine Reduktion des äquivalenten Dauerschallpegels um 2 dB. Die erlaubte Lärmdosis war bei Musik nach einer Expositionszeit von 10 Stunden in exponierter Position, vor z.B. Trompeten und nach 25 Stunden in normaler Position erreicht. Bezogen auf ein wöchentliches Lärmexpositions-Risikolevel von 85 dB(A) lag „leichte Musik“ wie Mozart 7-10 dB unter dem Level, „mittelschwere Musik“ wie Klavierkonzerte  $\pm 2$

dB um das Level und „schwere Musik“ 5-12 dB darüber. Der äquivalente Dauerschallpegel überstieg das Risikolevel sowohl in den exponierten als auch in den normalen Sitzpositionen. Die Autoren hielten trotz der gemessenen Schallpegel einen Hörverlust allein durch die Musik für wenig wahrscheinlich (Jansson und Karlsson, 1983).

*Woolford und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1984 38 Orchestermusiker aus drei Orchestern (30 Männer und 8 Frauen). Ihr privates Üben umfasste 34 Stunden pro Woche. 85 % der Musiker spielten auch noch in anderen Ensembles. Die meisten Musiker hatten keine wesentliche Lärmexposition außer der Musik in ihrer Vergangenheit. Bei 18 Musikern zeigten sich Hörverluste, bei 14 Hörschwellen-Verschiebungen im Bereich von 4000 Hz, 4 Musiker hatten einen geringen Hörverlust nur in den unteren Frequenzen, diese 4 Musiker waren alle über 50 Jahre alt (Woolford et al., 1984).

*Johnson und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1985 60 Musiker aus einem Symphonieorchester (42 männl., 18 weibl. mittleres Alter: 43 Jahre). Die durchschnittliche Lärm-Exposition betrug im Mittel 33 Stunden/Woche und die mittlere Berufsdauer 31,3 Jahre. Alle Audiogramme wurden mindestens 14 Stunden nach der letzten Probe oder dem letzten Konzert durchgeführt. Die Daten wurden mit Audiogrammen 30 Nichtmusiker (20-69 Jahre) verglichen. Die Musiker hatten im Vergleich zu den Nichtmusikern keine signifikant schlechteren Ergebnisse in der Audiometrie. Auch im Vergleich zu den altersklassifizierten Medianwerten nach Spoor, zeigten sich bei den Musikern keine signifikant schlechteren Ergebnisse (Johnson et al., 1986).

*Kwiatkowski und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1986 Musiker eines Opernorchesters. Dabei wurden Schalldruckpegelmessungen während 21 Aufführungen von 12 verschiedenen Werken an unterschiedlichen Messpunkten im Orchestergraben durchgeführt. Das Mikrophon befand sich dabei in Ohrhöhe der sitzenden Musiker auf einem Stativ. Zusätzlich wurden bei 16 verschiedenen Werken 30 Lärmdosimeter eingesetzt. Folgende Werte wurden dabei für die einzelnen Instrumentengruppen gemessen: Blechbläser: 87-96 dB(A) Mittelungspegel, Spitzenwerte bis 122 dB(A); Holzbläser: 88-97 dB(A) Mittelungspegel, Spitzenwerte bis 117 dB(A); Violine und Viola: 86-93 dB(A) Mittelungspegel, Spitzenwerte bis 110 dB(A); Cello und Kontrabass: 81-87 dB(A) Mittelungspegel.

Die Anteile der als Dauer gehörschädigend angesehenen Werte ab 90 dB(A) lagen bei den Blech- und Holzbläsern am höchsten. Weniger exponierte Musiker waren ähnlich hohen Schallpegeln ausgesetzt, wenn sie direkt vor den Blechbläsern saßen.

Eine realistische Lösung zur Minderung der Schallexposition konnte zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht angeboten werden. Bei den Mittelungspegeln gingen die individuellen Spielpausen in die Berechnung mit ein, daher ergaben sich hier geringere Werte als in anderen Studien. Die Lärmbelastung war abhängig vom gespielten Instrument, dem Sitz im Orchester und in geringerem Maße auch vom gespielten Werk. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass eine gehörschädigende Wirkung speziell für die Blech- und Holzbläser nicht auszuschließen sei (Kwiatkowski et al., 1986).

*Johnson und Mitarbeiter* untersuchten 60 Musiker (24-64 Jahre); darunter 42 Männer und 18 Frauen. 30 Nicht-Musiker (20-69 Jahre), 15 Männer und 15 Frauen dienten dabei als Kontrollgruppe. Die Nichtmusiker durften kein Lärmtrauma oder eine Lärmvergangenheit aufweisen, um an der Studie teilnehmen zu können. Folgende Befunde wurden erhoben: Fragebogen zu Anamnese und Lärmvergangenheit und HNO-Spiegeluntersuchung. Im Mittel betrug die Expositionszeit der Musiker 33 Stunden/Woche (12-56 Stunden), die bis dahin abgeleiteten Berufsjahre lagen im Mittel bei 31,3 Jahren (11-56 Jahre). Keiner der Probanden hatte einen Hörverlust oder eine Lärmvorgeschichte. Durch die Anamnese ergaben sich 15 Ohren mit einer Vorschädigung (Tympanosklerose bzw. Gehirnerschütterung) und 105 Ohren ohne Pathologie. Musiker und Nichtmusiker hatten dabei ein gleich gutes Gehör. Beide Gruppen hatten kein schlechteres Gehör als der Durchschnitt der normalen Bevölkerung. Die Musiker und Nichtmusiker zeigten in gleicher Weise ein reduziertes Hörvermögen von 7,6 dB für jedes kHz über 9 kHz und zusätzlich 1,5 dB für jedes Lebensjahr über 25 für jede dieser Frequenzen. Zwei audiometrische Verfahren wurden verwendet, darunter zum einen die konventionelle Audiometrie mit den Frequenzen von 0,25-8 kHz und zum anderen speziell die hohen Frequenzen von 9-20 kHz (Johnson et al., 1986).

*Schäcke und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1987 108 Orchestermusiker eines Opernhauses, 100 männliche (mittleres Alter: 42 J.) und 8 weibliche (mittleres Alter: 37 J.). Das Berufsalter lag bei den Männern bei 2-43 Jahren und bei den Frauen bei 1-34 Jahren. Zusammengenommen mit der Ausbildung erreichten die Männer im Mittel eine Expositionsdauer von 28 Jahren, die Frauen von 22 Jahren. Die Audiometrie erfolgte mindestens 12 Stunden nach Lärmexposition. Kriterien für die Beurteilung der Audiogramme: Hörverlust < 10 dB bei 4 kHz nach Alterskorrektur gemäß berufsgenossenschaftlichem Grundsatz G20 = normales Gehör. Bei 16 Musikern ergaben sich auffällige Audiogramme (in Knochenleitung bei 4 kHz mind. 10 dB Hörverlust). Geigen, Bratschen und Cellisten waren mit 9 auffälligen Befunden die signifikant schlechteste Gruppe, wobei sie innerhalb der Untersuchung auch die zahlenmäßig größte Gruppe darstellten. Die Minderung der Hörfähigkeit bei Geigern und Bratschisten war links ausgeprägter als rechts. Relativ gesehen waren die Schlagzeuger mit 3 auffälligen Befunden bei 4 durchgeführten Audiogrammen am schlechtesten. Bei Musikerinnen lag meist nur ein Hörverlust von < 20 dB vor, nur eine Musikerin wies bei 8 kHz 25 dB auf. Bei Musikern mit auffälligen Audiogrammen lag der Altersmedian mit 43 Jahren nur um 1 Jahr höher als bei Musikern mit unauffälligen Audiogrammen (Schäcke et al., 1987).

*Woolford und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1988 13 Mitglieder eines Philharmonie-Orchesters und führten folgende Hörtests durch: Luftleitungsaudiogramm, Knochenleitung (nur wenn indiziert), Impedanzmessungen mit Tympanometrie und akustischem Reflex, Lautheits-Diskomfort-Level-Messungen. Für die Beurteilung der Audiogramme wurden folgende Kriterien für ein normales Gehör angenommen: < 25 dB Hörverlust in allen Frequenzen zwischen 250-8000 Hz, normale Tympanometrie: statische Impedanz < 2480 akustische Ohm, Mittelohrluftdruck mit 80 mmH<sub>2</sub>O. Das

Lautheits-Diskomfort-Level wurde in dB SPL gemessen. 5 der 13 Musiker hatten ein beidseits normales Gehör. 8 Musiker zeigten einen einseitigen oder beidseitigen Hörverlust, 4 dieser 8 Musiker hatten einen bilateralen, symmetrischen, mild bis moderat ausgeprägten Hochfrequenz-Hörverlust. 3 Musiker hatten einen einseitigen Hörverlust, 2 dieser 3 zeigten einen sensorineuralen Hörverlust, einer eine Schalleitungsstörung. 13 der 26 Ohren zeigten ein normales Gehör, 11 hatten einen sensorineuralen Hörverlust und nur 2 hatten einen konduktiven Hörverlust. Der durchschnittliche akustische Reflex unterschied sich nicht zwischen Musikern, die gut hörten und denen, die einen Hörverlust aufwiesen. Das durchschnittliche Lautheits-Diskomfort-Level war bei den Hörgesunden signifikant niedriger als erwartet, während das Level bei den Hörgeschädigten signifikant höher lag. Diese Studie umfasste nur sehr wenige Probanden, wodurch ihre Aussagekraft in Frage zu stellen ist. Außerdem wurden Probanden nicht von der Studie ausgeschlossen, wenn sie einen Militärdienst absolviert hatten oder sonstige Lärmbeschäftigungen oder laute Hobbies betrieben hatten (Woolford et al., 1988).

*Ostri und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1989 96 Musiker aus einem Symphonieorchester, die zumeist in einem Orchestergraben spielten [16 weibl. (mittleres Alter: 40,5 Jahre) und 80 männl. (mittleres Alter: 44,5 Jahre)]. Durchschnittlich waren sie alle einer Exposition von 26 Stunden pro Woche Musik exponiert. Die Musikausübung insgesamt bestand im Mittel seit 24 Jahren (14-35 J.). Ein Hörverlust von weniger als 20 dB wurde als normales Gehör eingestuft. Alle Hörprüfungen wurden von der gleichen Person durchgeführt, mindestens 14 Stunden nach der letzten Exposition. Die Ergebnisse der Studie wurden mit den Standards der ISO 7029 verglichen. 42 % hatten ein normales Gehör, 58 % der Musiker wiesen eine Hörstörung im für eine lärminduzierte Hörstörung typischen hohen Frequenzbereich auf, hierunter waren deutlich mehr Männer als Frauen. Unter den Geigern wurde ein signifikant schlechteres Gehör bei den hohen Frequenzen auf der linken Seite gefunden. Ein Musiker gab Hörprobleme in ruhiger Umgebung an, 12 Musiker im Störlärm; 6 von diesen 12 hatten einen Hörverlust im Audiogramm. Tinnitus wurde von 4 Musikern angegeben. Bei den Schlagzeugern ergab sich auf der linken Seite das schlechteste Gehör von allen (Ostri et al., 1989).

*Cudennec und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1990 76 Musiker einer Militärkapelle der Republikanischen Garde („batterie-fanfare d´infanterie“). Im Frequenzbereich von 250 bis 18000 Hz zeigte sich, dass nur 9 % der Audiogramme normal waren, wobei die Schädigungen eher die hohen Frequenzen betrafen (87 %) als die tiefen (49,5 %) und eher bei den Schlagzeugern als bei den Blasinstrumentalisten zu finden waren (Cudennec et al., 1990).

*Royster und Mitarbeiter* untersuchten 59 von 100 Musiker eines Symphonieorchesters, 46 männliche (mittleres Alter: 53,2 J.) und 13 weibliche (mittleres Alter: 49,5 J.). Sie nahmen alle an ca. 15 Stunden/Woche am Orchesterdienst teil. Der gemessene Mittelungspegel beim Orchester betrug 79-99 dB(A), der ermittelte Maximalpegel 124 dB(A); basierend auf einem 8 Stunden-Tag betrug der Dauerschallpegel noch 75-95 dB(A), im Mittel 85,5 dB(A). Die Audiogramme wurden vor den Proben

durchgeführt. 52,5 % der untersuchten Ohren, 42 Personen (71 %), zeigten Zeichen eines permanenten lärminduzierten Hörschadens. Das Gehör der Frauen war besser als das der Männer. Geiger hatten auf der linken Seite ein signifikant schlechteres Gehör bei 3-6 kHz. Die Audiogramme wurden mit denen von Referenzgruppen verglichen, zum einen mit einer unselektierten Gruppe und zum anderen mit ausgesuchten Probanden, die keinerlei Lärmexposition aufwiesen (ISO 7029). Im Vergleich zur unselektierten Referenzgruppe zeigten die Musiker ein besseres Gehör, im Vergleich zur selektierten Gruppe (ISO 7029) hatten sie ein etwas schlechteres Gehör (Royster et al., 1991).

*Mc Bride und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1992 63 Musiker von 89 (70 %) eines Symphonieorchesters. Die Autoren konnten keine exakte Expositionszeit festlegen, da Musiker oft neben der Orchestertätigkeit noch weitere Ensembles haben, unterrichten oder für sich selbst üben. Schalldruckmessungen wurden bei fünf Proben und zwei Konzerten durchgeführt, jeweils von zentraler Stelle auf der Bühne aus. Dabei wurden drei konkurrierende Messstrategien benutzt. Die dabei ermittelten Pegel sahen wie folgt aus: Mittelungspegel: 77-97 dB(A), Maximalpegel: 95-113 dB(A). In der Hälfte der Probenaufnahmen überstiegen die Messungen 85 dB. Die Schallpegel neben Horn, Trompete und Fagott überschritten manchmal 90 dB. Alle Messungen wurden in  $L_{eq}$  dB(A) angegeben. Die Lärmdosis ist definiert als 90 dB für 8 h am Tag und spiegelt die maximal erlaubte (100 %) tägliche Lärmdosis dar. Durch die Lautstärkeuntersuchungen konnten zwei Risikogruppen gebildet werden: die Hochrisikogruppe bestand aus Holz- und Blechbläsern und die Niedrigrisikogruppe aus Streichern. Trompeter und Piccolo-Spieler erreichten eine Lärmdosis von 160 % und 124 %. Der Vergleich von 18 Holzbläsern und Blechbläsern mit 18 Streichern, angepasst an Alter und Geschlecht, ergab bei den hohen Frequenzen keinen signifikanten Unterschied im Gehör, jedoch bei den tiefen. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die Schlagzeuger weniger gefährdet seien, da sie einen tieferen Frequenzbereich erzeugten, der weniger schädigend für das Gehör sei. Einige Musiker seien Lärmpegeln ausgesetzt, die gelegentlich die Behaglichkeitsgrenze und das berufliche Lärmexpositionslevel überschreiten. Musiker seien demnach potenziell gefährdet, einen Hörschaden durch klassische Musik zu erleiden. Streicher haben ein geringes Risiko, während Holz- und Blechbläser ein hohes Risiko aufweisen. Das reale Risiko für einen Musiker, einen Hörverlust zu erleiden, konnten die Autoren jedoch nicht einschätzen (Mc Bride et al., 1992).

*Drake-Lee* untersuchte 3 Rockmusiker und den Chef-Roadie im Alter zwischen 25-37 Jahren mit einer durchschnittlichen Berufsdauer von 5 - 17 Jahren. Es wurden Schalldruckpegel von über 135 dB auf der Bühne und im Auditorium gemessen. Die Audiogramme (Luft- und Knochenleitung) wurden im Umkleideraum gemessen, einmal vor und einmal nach einem Konzert (ca. 1 ½ Stunden). Der Sänger der Band trug während der Konzerte einen Lärmschutz im rechten Ohr. Alle Probanden hatten nach den Konzerten bereits ein Wattegefühl im Ohr und einen zeitweiligen Tinnitus erlitten. Im Audiogramm zeigte sich bei allen ein Abfall der Hörschwellenkurve bei 6000 Hz vor dem Konzert. Nach dem Konzert hatten alle außer dem Sänger einen Hörschwellenabfall bei allen Frequenzen. Alle

Musiker gaben keine weitere Lärmexposition außer ihrer Musik an. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass ein kleines aber definitives Risiko bestehe, einen Hörschaden durch diese Art der Musik zu erleiden (Drake-Lee, 1992).

*Yassi und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1993 11 Männer und 11 Frauen im Alter zwischen 18 und 40 Jahren. Sie füllten einen Fragebogen aus und wurden vor und nach dem Rockkonzert audiometrisch getestet. Zwanzig Probanden wiesen ein normales Gehör auf. Zwei der Probanden hatten durch ein früheres akustisches Trauma bereits vor dem Konzertbesuch einen Hörverlust von 5 bis 10 dB bei 4000 Hz auf einem Ohr. Alle Probanden wurden mit Dosimetern ausgestattet, durch die während des 2,5-stündigen Konzertes der  $L_{eq}$  und die dB(A)-Peaks gemessen werden konnten. Die Spitzenpegel erreichten 139,5 dB(A), nur knapp unter dem bedenklichen Level 140 dB, bei dem irreversible Hörschäden verursacht werden können. Insgesamt waren die Schallpegel in der zweiten Hälfte des Konzertes lauter als in der ersten. Zwischen dem Konzert und der ersten audiometrischen Testung lagen zwischen 5 und 25 Minuten. 60 % der Probanden beschrieben den Schallpegel als „zu laut“ oder als „intolerabel“. Dreizehn Probanden (fast 60 %) hatten nach dem Konzert einen Tinnitus. Unterschiede bezüglich des Gehörs ließen sich anhand des Alters oder des Geschlechts nicht feststellen. Acht von 21 Probanden zeigten eine temporäre Hörschwellenverschiebung (TTS), die 20 dB bei 3000 Hz überstieg. Nach 40-60 Minuten hatten noch 10 Personen eine signifikante TTS bei 4000 Hz. Diejenigen, die eine TTS bei 2000 Hz oder 8000 Hz aufwiesen, erholten sich schneller. Ein signifikanter Hörverlust wurde als eine Hörschwellenverschiebung um 10 dB oder mehr definiert. Probanden, die bei der ersten Messung eine TTS aufwiesen, wurden nach 40-60 Minuten erneut getestet. Falls dann noch immer ein Hörverlust nachweisbar war, wurden sie nach 24 Stunden erneut einem Audiogramm unterzogen. Die dosimetrischen Daten zeigten, dass alle Probanden eine mehr als doppelt so hohe tägliche Lärmdosis im Konzert erfuhren, als für ein gesundes Ohr akzeptabel ist. Manche erreichten sogar das Vierfache. Erstaunlicherweise erreichte dabei nicht die Probandengruppe, die den Lautsprechern am nächsten stand, die höchsten Lärmpegel (Yassi et al., 1993).

*Schmidt und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1994 79 Musikstudenten, 50 männlich, 29 weiblich im mittleren Alter von 25 Jahren (21-40 J.). Die Kontrollgruppe bestand aus Medizinstudenten (28 männl., 29 weibl., mittleres Alter 25 Jahre). Die meisten Musiker begannen zwischen dem 6. und 9. Lebensjahr mit dem Musizieren. Im Mittel übten die Probanden in der Kindheit und Jugend ca. 7 h/Woche, während des Studiums dann bis zu 18 h/Woche. Das zusätzliche Hören von Musik lag bei 10 h/Woche. Ein Hörverlust wurde bei 16 % der Musiker und bei 14 % der Kontrollgruppe festgestellt. Die Unterschiede waren statistisch nicht signifikant. Die Exposition der Musikstudenten mit Musik hat demnach im Vergleich zu einer nach Alter gematchten Kontrollgruppe noch zu keiner Schädigung des Ohres geführt (Schmidt et al., 1994)



*Funk und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1994 Musiker eines Opernorchesters. Dabei wurden Schallpegelmessungen durchgeführt, die die Tätigkeiten pro Woche beinhalteten; darunter 4 Stunden Aufführung mit einem Dauerschallpegel von  $L_{\text{aeq}}=92$  dB, 12 Stunden Unterricht/Proben mit einem Pegel  $L_{\text{aeq}}=85$  dB und 25 Stunden Sonstiges mit einem äquivalenten Dauerschallpegel von 75 dB. Die Mikrophone wurden dabei jeweils auf Ohrhöhe positioniert. Die Messungen ergaben äquivalente Dauerschallpegel von 86-95 dB. Ergänzende Messungen bei Soloproben in einem Abstand von 40 cm zum Instrument ergaben für Klarinette, Trompete und Pauke einen Maximalpegel  $L_{\text{max}}$  von 122 dB-140 dB. Für die Trompete ergab sich nach einem Übungszeitraum von 85 min ein äquivalenter Dauerschallpegel von 96 dB(A). Die Schallexposition auf Probebühnen war geringer als in Orchestergräben. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass die Orchesterbesetzung, die Werkinterpretation und die Dynamik entscheidenden Einfluss auf die Belastung der Musiker hatten. Die Belastung des Gehörs, je nach Sitzplatz im Orchester, war zu hoch. Bei einer zweistündigen Darbietung, bei der ein äquivalenter Schalldruckpegel von 91 dB(A) einwirkte, sei eine Gehörschädigung nicht auszuschließen (Funk et al., 1994).

*Sabesky und Korczynski* untersuchten 67 Musiker eines Symphonieorchesters. Schalldruckmessungen wurden gleichzeitig an verschiedenen Positionen innerhalb des Orchesters gemessen. Der Mittelungspegel lag dabei bei folgenden Werten: Oper: 82-100 dB(A), Konzertbühne: 83-97 dB(A), Orchestergraben: 82-100 dB(A), Proberaum: 85-98 dB(A). Die Messungen erstreckten sich über 2,5-6 Stunden. Die gemittelten 8-h-bezogenen Schallpegel betragen: Probenraum: 85 und 86 dB(A), Orchestergraben: 85 und 86 dB(A), Konzertbühne: 82,84 und 88 dB(A). 96 % oder 48 Musiker überschritten 80 dB(A), 60 % oder 30 Musiker überschritten 85 dB(A) und 16 % oder 8 Musiker überschritten 90 dB(A). Ein Hornist wies folgende Pegel auf: gemittelter  $L_{\text{eq}} = 94$  dB(A), Mittelungspegel = 114 dB(A), Maximalpegel = 125 dB(A). Dosimeter hinter der Bühne ergaben folgende Werte: 77 dB(A), in der 10. Reihe = 78,5 dB(A). Die Dosimeter wurden direkt unter dem Ohr des Musikers befestigt. Fast 10 Musiker trugen einen Gehörschutz. Weder die Beschaffenheit der Bühne noch das Repertoire ergaben einen Unterschied im Bezugsschallpegel. Die höchste Lärmexposition ergab sich in oder direkt vor der Holz- und Blechbläsergruppe. Dort hatten 26 der 30 Musiker eine Lärmexposition > 85 dB(A). Schlagzeuger erfuhren die geringste Lärmbelastung. Die 8-h-Belastung verringerte sich mit dem Abstand von Holz- und Blechbläsern (Sabesky und Korczynski, 1995).

*Axelsson und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1995 53 der 83 Pop-/Rockmusiker erneut, die bereits in den Jahren 1977-1981 von Axelsson und Lindgren Teil einer Studie waren. Ihr mittleres Alter lag 1995 bei 41,2 Jahren. Sie waren seit 26,6 Jahren 20-25 Stunden pro Woche berufstätig. 40 der Musiker waren noch professionell aktiv, darunter 16 Gitarristen, 8 Schlagzeuger, 3 Akkordeonspieler, 3 Saxophonisten, 3 Sänger, 2 Pianisten, 2 Organisten, 2 Bassisten und 1 Mandolinenspieler. Bei Lärmpegelmessungen wurden 95 dB(A) in Diskotheken und 105 dB(A) bei Rock-Konzerten gemessen.

In dieser Längsschnittstudie wurden 53 der 83 Musiker 16 Jahre nach der ersten Untersuchung ein zweites Mal anhand eines Fragebogens befragt. Außerdem wurde erneut ein Audiogramm durchgeführt. Unter den aktiven Musikern waren fünf noch zusätzlichem anderem Lärm als der Musik ausgesetzt. 63 % der Probanden hatten ein normales Hochfrequenz-Reintonaudiogramm, wohingegen 15 % einen moderaten Hochtonhörverlust < 25 dB und 8 % einen geringen Hörverlust aufwiesen. Zwei Musiker sagten im Interview, sie hätten durch die Musik ein akustisches Trauma erlitten. Der Vergleich der Audiogramme der Musiker, die noch aktiv spielten mit denen, die nicht mehr aktiv spielten, ergab keinen Unterschied. Keiner der Musiker, die nicht mehr als solche arbeiteten, gab als Grund, aufgehört zu haben, Ohr- oder Hörprobleme an. Aufgeschlüsselt nach Instrumentengruppen ergab sich bei den 16 Gitarristen kein signifikanter Hörverlust. Bei den 8 Schlagzeugern zeigte sich ein Hörverlust auf dem rechten Ohr bei 4 und 6 kHz, und auf dem linken Ohr bei 3,4 und 6 kHz. Das Gehör der noch aktiven Musiker war bei den Frequenzen 1,2,4 und 8 kHz etwas besser im Vergleich zu den Musikern, die aufgehört hatten oder zu denen, die nicht an der zweiten Studie teilgenommen hatten. Drei der 40 aktiven Musiker hatten keinerlei audiologische Symptome, 12 dieser beklagten einen Hörverlust, einer eine Überempfindlichkeit auf Geräusche, 7 einen Hörverlust mit Tinnitus, 5 einen Hörverlust mit einer Überempfindlichkeit und 2 einen Hörverlust mit Tinnitus und Überempfindlichkeit. Drei der nicht mehr aktiven Musiker hatten keinerlei Symptome, 7 hatten einen Hörverlust und einer litt an der Kombination von Hörverlust, Tinnitus und Überempfindlichkeit. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass insgesamt nur wenig Unterschied zwischen den beiden Gruppen bestand, bezogen auf die subjektiven Symptome. Generell war bei den Musikern mit Tinnitusbeschwerden das Audiogramm schlechter. Die Anzahl der Ohren, die außerhalb des 90 %-Konfidenzintervalles lagen, war weniger als in der ersten Studie, was bedeutet, dass die noch aktiven Musiker ein vergleichsweise gutes Gehör haben und ein relativ besseres Gehör als in der ersten Studie. Diese Folgestudie bestätigte die überraschende Resistenz gegenüber hohen Schalldrücken (Axelsson et al., 1995).

*Rosanowski und Eysholdt* untersuchten im Jahr 1996 einen Geiger (42 Jahre alt) mit bilateralem Tinnitus, der sich bei verschiedenen Geigen unterschiedlich stark und schmerzhaft präsentierte. 6 h/Tag war er der Musik ausgesetzt. Die gemessenen Schalldruckpegel erreichten beim Forte-Spiel potenziell innenohrschädigendes Ausmaß. Rechts zeigte der Proband ein normales Hörvermögen, wohingegen er links eine diskrete Hochtonhörminderung von bis zu 20 dB aufwies. Die otoakustischen Emissionen waren nur rechts reproduzierbar evozierbar, der Tinnitus war bds. verdeckbar, die Nachverdeckung war nur rechts positiv. Bei der In-Situ-Messung konnte trommelfellnah ein unterschiedlich spektrales Schalldruckverhalten der beiden Geigen verifiziert werden. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass auch nach jahrzehntelanger beruflicher Tätigkeit als Orchestermusiker diese nur in Ausnahmefällen zu einer Hörminderung von entschädigungspflichtigem Ausmaß führe. Die Forderung nach arbeitsmedizinischen audiometrischen Untersuchungen wurde hier unterstützt.

Gleichzeitig wurde für die Entwicklung adäquater Schallschutzmaßnahmen geworben (Rosanowski und Eysholdt, 1996).

*Early und Horstmann* untersuchten im Jahr 1996 2 Highschool-Blaskapellen, 1 Universitätsblaskapelle, 1 Highschoolband, 1 Band, 1 Schlagzeugensemble und 1 Soft-Rockband, die an 4-5 Tagen die Woche 1-4 Stunden probten. Die Musiker wurden mit 5 Dosimetern auf der Schulter auf der entgegengesetzten Seite des Instruments ausgestattet. Dabei ließen sich Spitzenpegel von 99,5 – 135,7 dB(A) messen. Bei dieser Untersuchung war das Problem der unterschiedlichen Expositionszeiten der Orchester oder Bands gegeben. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass viele Musiker Lärmpegeln ausgesetzt seien, die die OSHA-Kriterien (Occupational Safety and Health Administration = 90 dB(A) für einen 8-Studentag) übertreffen und das sogar bei einem geringen Probenaufwand von 1-3 Stunden (Early und Horstmann, 1996).

*Steurer und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 1998 62 der 82 Mitglieder eines Chores. Sie setzten sich aus 30 Frauen (15 Sopran, 15 Alt) im Alter zwischen 34 und 58 Jahren und 32 Männern (13 Tenöre, 19 Bässe) im Alter zwischen 39 und 61 Jahren zusammen. Die Kontrollgruppe bestand aus 11 jungen Frauen und 16 Männern, die im Lärm arbeiteten. Ein Fragebogen musste von den Probanden beantwortet werden. Dabei ging es um Alter, Geschlecht, Lebensstil, soziale Situation, Gesundheitszustand, Berufsdauer, Singdauer und Aufführungsstunden pro Woche. Zusätzlich wurden Blutuntersuchungen durchgeführt, eine HNO-Untersuchung und ein Audiogramm. Die weiblichen Sängerinnen waren seit durchschnittlich 27 Jahren Profis mit einer durchschnittlichen Übe- und Konzertdauer von 15 und 29 Stunden/Woche. Die männlichen Sänger waren seit 24 Jahren Profis und hatten eine Übe- bzw. Aufführungsdauer von 28 Stunden bzw. 15 Stunden/Woche. 32 der 62 Sänger hörten regelmäßig Musik über Kopfhörer. 5 Personen wurden wegen Ohrpathologien oder Rhinitis ausgeschlossen. Es ergab sich kein statistischer Unterschied zwischen Männern und Frauen, aber der Hörverlust war bei den Frauen größer. Es ergaben sich auch keine statistisch signifikanten Unterschiede in den einzelnen Stimmen. Das Hören von Musik über Kopfhörer gefährdete das Gehör im oberen Frequenzbereich. PTS bei 250 Hz und darüber sind wahrscheinlich durch das Singen im Chor verursacht, Hörverluste von 125 Hz und teilweise von 250 Hz dürften andere Ursachen haben. Große Teile der Schallenergie konnten unterhalb von 1 kHz und sogar unter 500 Hz gefunden werden. Der tiefe Frequenzbereich war am meisten betroffen. Die eigenen Daten wurden mit mehreren Referenzgruppen, ISO 7029 und Daten aus anderen Studien verglichen. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass Chöre Schalldruckpegel von 110 dB(A) erzeugen können und damit potenziell gehörschädigend seien (Steurer et al., 1998).

*Obeling und Poulsen* untersuchten im Jahr 1999 57 Musiker aus vier dänischen Orchestern; 26 Frauen und 31 Männern im Alter zwischen 22 und 65 Jahren. Schallpegelmessungen während Proben und Konzerten wurden bei verschiedenen Instrumentengruppen durchgeführt. Die Mikrophone standen

nah am Ohr der Musiker (10 cm). Speziell ausgesuchte Orchestermitglieder trugen zusätzlich noch Dosimeter. Das Durchschnittsaudiogramm fiel in den höheren Frequenzen ab, ähnlich einem Altershörverlust. 4 Bratscherinnen, die normalerweise vor den Blechbläsern sitzen, hatten einen leichten Hörverlust bei 6 kHz und 8 kHz. 3 Schlagzeuger hatten eine Senke auf dem linken Ohr. Im Vergleich zur alterskorrigierten Norm nach ISO 1999, waren die hier gemessenen Audiogramme sogar im Mittel besser (Obeling und Poulsen, 1999).

*Pree-Candido und Körpert* untersuchten Lehrer einer Musikschule und Profimusiker eines Orchesters (insgesamt 62 Personen, 46 männl., 16 weibl., Durchschnittsalter 40,6 Jahre bzw. 33,9 Jahre; spezifische Angaben wie viele Musiker Lehrer bzw. Orchestermusiker waren, wurden von den Autoren nicht gemacht). Die Musiklehrer waren wöchentlich 40,2 h Musik exponiert, die Profimusiker dagegen nur 36,5 h. Der dazu kommende passive Musikkonsum in der Freizeit betrug 6,9 bzw. 5,2 Stunden. Das Üben zu Hause umfasste 8 bzw. 9,2 h. Schallpegelmessungen an der Musikschule wurden während 20 Minuten eines Unterrichts am Platz des Musiklehrers durchgeführt. Der mittlere Schalldruckpegel während des Musikunterrichts erreichte 95,5 dB(A), bei dem Orchester bis 105 dB(A). Bei gleichen Instrumenten wurden im Orchester wesentlich höhere Pegel als im Musikunterricht erreicht. Der mittlere Hörverlust in den Frequenzen 3 kHz und 4 kHz war bei den Musikern deutlich höher als bei der gleichaltrigen, hörgesunden nicht lärmexponierten Bevölkerung. Die größten Höreinbußen fanden sich bei 4 und 6 kHz (Männer im Median bis zu ca. 20 dB und Frauen bis zu ca. 10 dB, jeweils bei 6 kHz). Bei vergleichbarer Lärmexposition war das Gehör von Frauen resistenter als jenes von Männern. 86 % der Befragten gaben an, eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Geräuschen entwickelt zu haben. 60,3 % der Musiker fühlten sich durch andere Instrumente im Orchester gestört, vor allem durch Schlagwerk und Blechbläser. Es wurde auch die Anwendung von individuellem Gehörschutz untersucht. Die Erhebung erfolgte mittels Fragebogen nach einem Monat Tragezeit des Gehörschutzes und ein dritter Fragebogen nach 1-1,5 jähriger Verwendungszeit. Der getestete Gehörschutz wurde den speziellen Anforderungen der Musiker vor allem im Hinblick auf die Erhaltung der Klangqualität als auch beim Zusammenspiel im Orchester ihren Aussagen nach weitgehend nicht gerecht (Pree-Candido und Körpert, 1999).

*Wegner und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 2000 40 von 127 Mitgliedern eines Symphonie- und Opernorchesters [26 Männer (mittl. Alter: 44,3 J.) und 14 Frauen (mittleres Alter: 35,7 J.)], die einer durchschnittlichen Exposition von 30 h/Woche ausgesetzt waren. Neben der Erhebung der Schalldruckpegel und der Hörleistung der Probanden war es Ziel der Studie, die Akzeptanz des Tragens von Gehörschutz zu untersuchen. Schalldruckpegel wurden während der Aufführungen im Orchestergraben stationär in Ohrhöhe in ca. 40 cm Entfernung von dem jeweiligen Probanden gemessen. Dabei ergaben sich äquivalente Dauerschallpegel von 83,0 bis 94,1 dB(A) und Maximalpegel von 97-112 dB(A). Bei 7 Messungen erhielt man Werte zwischen max. 110 und 112 dB(A). Bei den Streichern wurden Mittelungspegel deutlich oberhalb von 90 dB(A) gemessen. Die

Dauerschallpegel lagen zu mehr als 90 % oberhalb von 85 dB(A) und knapp 40 % oberhalb von 90 dB(A). 6 Probanden (Bläser, männl.) schieden vorzeitig aus dem Kollektiv aus, da es ihnen nicht möglich erschien, mit Gehörschutzstöpseln zu spielen. Bei den verbleibenden 34 Probanden wurden 3 Audiogramme durchgeführt: eines zu Beginn der Studie mit Luft- und Knochenleitung und 2 nach Opernaufführungen (Spielen mit und ohne Gehörschutzstöpsel, jeweils 2 Probanden je Aufführung) im Mittel 11 min. nach Aufführungsende. Die 3 Audiogramme wurden im Abstand von wenigen Tagen durchgeführt. Außerdem wurde anhand eines Fragebogens die Akzeptanz und Praktikabilität der Stöpsel überprüft. Von den 34 untersuchten Probanden klagten 6 (18 %) über Tinnitus, 4 (12 %) hatten einen Hörsturz, sie wurden deshalb aber nicht von der Studie ausgeschlossen. Reintonaudiometrisch ergab sich ein alterskorrigierte Knochenleitungshörverlust von > 20 dB bei 4 kHz nur bei einer Person (Streicherin) sie hatte aber zuvor einen Hörsturz. Im Mittel überschreitet die Knochenleitungshörschwelle nicht den Altershörverlust. Die Mehrzahl der Probanden hatte während des Tragens des Gehörschutzes erhebliche Schwierigkeiten mit dem eigenen Musizieren und dem Zusammenspiel. Nach Spielen ohne Gehörschutz fanden sich ausgeprägtere Abweichungen der Hörschwellenkurve als nach Einsatz mit Gehörschutz. Die Differenz überschreitet 3 dB. Die Ergebnisse der audiometrischen Untersuchungen belegen die Wirksamkeit des eingesetzten Gehörschutzes, er wird von den Musikern aber nur schlecht akzeptiert (Wegner et al., 2000).

*Kähari und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 2001 140 von 178 Orchestermusikern (79 %) eines Opern- und eines Symphonieorchesters, 98 männliche (mittleres Alter: 42 Jahre) und 42 weibliche Musiker (mittleres Alter: 37 Jahre). Die Audiogramme wurden in einer Hörprüfkabine durchgeführt und es wurde mit dem rechten Ohr begonnen, außerdem wurde darauf geachtet, die Hörprüfungen möglichst an einem freien Tag oder vor musikalischer Exposition durchzuführen. Die gleichen Orchester wurden bereits einmal 1983 von Axelsson und Lindgren getestet. Dieses Mal wurden die verschiedenen Instrumentenklassen in sechs Gruppen unterteilt: kleine Streicher (Geige, Bratsche), große Streicher (Cello, Kontrabass), Holzbläser, Blechbläser, Schlagzeuger und andere (Piano und Harfe). Es zeigte sich kein ernst zu nehmender Hörverlust, der auf die Exposition im Orchester zurückzuführen wäre. Weibliche Musiker hatten ein signifikant besseres Gehör im hohen Frequenzbereich als die männlichen Musiker, was einerseits daran liegen könnte, dass die Männer im Schnitt fünf Jahre älter waren und dass mehr Männer die lauten Instrumente wie Holz, Blech und Schlagzeug spielten. Die Frauen hatten alle Hörschwellen, die besser waren als 20 dB. Die mittlere Reintonhörschwelle der Männer hatte eine Senke bei 6 Hz auf dem linken Ohr, ähnlich eines lärminduzierten Hörverlustes. Ein kleiner Unterschied ergab sich zwischen den einzelnen Instrumentengruppen. Schlagzeuger und Holzbläser hatten ein etwas schlechteres Gehör als andere Musiker, Schlagzeuger hatten dabei das schlechteste, Musiker großer Streichinstrumente hatten das beste Gehör. Im Vergleich zur Norm nach ISO 7029 waren nur 3 % der 84 weiblichen Ohren außerhalb der 90. Perzentile, welche alle jünger als 32 Jahre alt waren (Kähari et al., 2001a).

*Kähari und Mitarbeiter* verglichen im Jahr 2001 im Sinne einer Folgestudie auch die Musiker, die bereits im Jahr 1981/1982 an der Studie von Axelsson und Lindgren teilgenommen hatten (als Studie A wird die von Axelsson und Lindgren bezeichnet, als Studie B die von Kähari). 56 von 69 (81 %) noch aktiven klassischen Musiker, 13 weibliche (mittleres Alter: 30 Jahre bei Studie A, 46 J. bei Studie B) und 43 männliche (mittleres Alter: 34 J. bei Studie A, 50 J. bei Studie B) konnten in diesen Vergleich eingeschlossen werden. Die Männer zeigten einen etwas größeren, nicht signifikanten Hörverlust als die Frauen bei 4,6 und 8 kHz bds., womit sie sich um 0,7 dB/Jahr verschlechterten, wohingegen das Gehör der Frauen nur um 0,4 dB/Jahr nachgab. Beide Geschlechter zeigten keine signifikante Hörreduktion während der 16 Jahre im Vergleich mit ISO 7029. Es zeigte sich also im Vergleich zur Norm kein negatives Voranschreiten der Hörschwellenkurven nach einem Zeitraum von 16 Jahren musikalischer Lärmexposition (Kähari et al., 2001b).

*Eaton und Gillis* untersuchten 53 Mitglieder des Vancouver Symphony Orchestra (31 Männer und 22 Frauen). 13 der 53 Musiker hatten im Bereich der Frequenzen 3, 4 bzw. 6 kHz einen muldenförmigen Abfall um bis zu 15 dB. Im Vergleich zur ISO 1999 fand sich beim Vergleich der Mediane jedoch kein signifikant schlechteres Hören bei den Musikern (Eaton und Gillis, 2002).

*Laitinen und Mitarbeiter* untersuchten 2003 65-88 Mitglieder eines Orchesters und 45-60 Mitglieder eines Chores. Die tägliche Arbeitszeit der Musiker betrug 5,5 h/Tag. Beim Orchester wurden 87 Messungen anhand von Dosimetern und fixen Messpunkten durchgeführt, beim Chor 66 Messungen. Die Mikrophone wurden in der Mitte der rechten oder linken Schulter platziert, die fixen Messgeräte standen auf einer Höhe von 1m an repräsentativen Stellen auf der Bühne. Das technische Personal bekam Miniaturmikrophone in ihre Kopfhörer eingepflanzt. Die Chormitglieder waren Soundlevels von 92-94 dB(A) ausgesetzt. Innerhalb des Orchesters fand man die lautesten Schallpegel bei den Schlagzeugern [95 dB(A)], bei den Flötisten (Piccolo) [95 dB(A)] und bei den Blechbläsern [92-94 dB(A)]. Für den Proben-Pianist ergaben sich 95 dB(A), für die Solisten und den Tenor 97 dB(A), für den Sopran 105 dB(A). Die Tänzer waren einem Schallpegel von 73-77 dB(A) ausgesetzt und die Lichtcrew unter den Kopfhörern 77-92 dB(A). Im Chor waren die Schalldruckpegel während individueller Proben, die 13 % der Zeit ausmachten, höher als während Gruppenproben. Die meisten der Künstler trugen keinen Hörschutz, 77 % hatten noch nie einen während Einzelproben benutzt, manche benutzten ihn während Gruppenproben, 3 % trugen ihn immer. 19 % der Orchestermusiker und 41 % der Chorsänger berichteten, dass ihr Gehör bei der letzten audiometrischen Untersuchung schlecht gewesen sei. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass individuelle Proben eine signifikante Lärmquelle für Chorsänger, Schlagzeuger und Holzbläser seien (Laitinen et al., 2003).

*Kähari und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 2003 139 von 230 (60 %) Rock-/Jazzmusikern, 43 Frauen und 96 Männer. Im mittleren Alter waren die Frauen 35 Jahre und die Männer 37 Jahre alt. Nach der Dauer der Musikexposition wurden verschiedene Gruppen definiert: Gruppe der wenig exponierten

Musiker (n=39): 3 Tage oder weniger/Woche und 4,5 Stunden oder weniger/Arbeitstag=im Durchschnitt eine Exposition von 3 Stunden/Woche. Gruppe der hoch expositionierten Musiker (n=51): 3,5-7 Tage/Woche und für mind. 5 Stunden/Tag =32,5 Stunden/Woche. Die durchschnittliche Berufsdauer lag bei 19 Jahren, die durchschnittliche Expositionszeit lag bei 4 Tagen/Woche und 5 Stunden/Tag. Aufnahmekriterien für diese Studie waren: Alter über 25 Jahre, mindestens 5 Jahre Berufsausübung, Livemusiker, keine anderen Hinweise auf einen Hörverlust außer durch laute Musik. Folgende Untersuchungen wurden bei den Probanden vorgenommen: Audiogramm in Hörprüfkabine und Fragebogen. Die Hörtests wurden an freien Tagen oder nach einer Hörerholung von mind. 8 Stunden durchgeführt. Wenn ein Hörverlust festgestellt wurde, wurde eine Knochenleitung abgeleitet und eine Tympanometrie durchgeführt. Kriterien für einen Hörverlust: bei  $\geq 2$  Frequenzen  $\geq 25$  dB HL oder bei einer Frequenz  $\geq 30$  dB HL in  $\geq 1$  Ohr. Als Referenzgruppe wurden die Daten der ISO 7029 genommen, für die Distorsions- und Diplacusisstörungen wurden keine Referenzgruppen gefunden. Schallpegelmessungen wurden sowohl bei den Musikern anhand von Dosimetern als auch bei Zuhörern, jeweils direkt unter dem Ohr, durchgeführt. Die Schallpegelmessungen überschritten bei den Musikern bei allen Messungen die vorgeschriebenen Pegel. Bei den Zuhörern waren die Schalldruckpegel nicht so hoch, überschritten aber auch in der Hälfte der Messungen die zulässigen Pegel. Die Frauen zeigten ein beidseitiges besseres Gehör als die Männer. Bei den Frauen wurde kein signifikanter Unterschied zwischen dem rechten und linken Ohr gefunden, wohingegen die Männer ein signifikant schlechteres linkes Ohr bei den Frequenzen 0,25, 1,5, 2, 3 und 4 kHz und ein schlechteres rechtes Ohr bei 1 kHz aufwiesen. Zehn Männer hatten einen Hörverlust, fünf einen Tinnitus und fünf eine Hyperakusis. Drei männliche Musiker litten an allen fünf Hörstörungen. Jeder von ihnen war schon mindestens 22 Jahre im Beruf. Ihre momentane Exposition war 5 Tage die Woche, 9 Stunden/Tag. Alle spielten Trommel und zwei von ihnen noch zusätzlich Saxophon. Zwei von ihnen benutzten immer Kopfhörer. In der niedrigexpositionierten Gruppe hatten 28 (72 %) Musiker mehr als eine Hörstörung (10 Frauen und 18 Männer), in der hochexpositionierten Gruppe litten 34 (67 %) Musiker unter mehr als einer Hörstörung (12 Frauen und 18 Männer). Ein signifikant schlechteres Gehör wurde in der niedrigexpositionierten Gruppe bei 4 kHz auf dem rechten Ohr gefunden. Im Vergleich mit den Referenzwerten der ISO 7029 fielen 22 Männer (23 %) außerhalb der 90. Perzentile (11 Streicher, 4 Discjockeys, 3 Schlagzeuger, 1 Tontechniker, 1 Bläser, 1 Keyboarder, 1 Sänger). Tinnitus wurde bei 43 % der Musiker gefunden, Hyperakusis bei 39 %. Frauen hatten signifikant mehr Hyperakusis und kombiniert Hyperakusis mit Tinnitus als die Männer, dahingegen hatten die Männer signifikant mehr Hörverluste und kombiniert Hörverlust mit Tinnitus als die Frauen. Außerdem zeigte sich insgesamt eine signifikant höhere Anzahl an Hörstörungen bei den Musikern als bei der Referenzgruppe. 74 % der Musiker wiesen eine Hörstörung auf. Hörverlust, Tinnitus und Hyperakusis waren die häufigsten Probleme (Kähari et al., 2003).

*Hohmann und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 2003 35 Musiker und 8 Musikerinnen im Alter zwischen 28 und 64 Jahren aus drei Berufsorchestern und 12 Berufssänger (drei pro Stimmlage), die

alle im Durchschnitt 35 Stunden pro Woche proben, üben oder konzertieren. Folgende Befunde wurden für die Studie erhoben: Schallpegelmessungen und Interviews über die musikalische Laufbahn, den Gebrauch von Dämpfern, die subjektiv empfundene Lautstärke, die Wahrnehmung anderer Orchesterinstrumente, Ruhezeiten, Freizeitverhalten, physische und psychische Belastungen sowie allfällige Hörprobleme und die Verwendung von Gehörschutzmitteln. Bei Sängern beträgt die effektive Singzeit von Hauptrollen maximal ein Drittel der Aufführungsdauer. Bei den durchgeführten Schalldruckmessungen wurden integrierende Schallpegelmessgeräte (Kopfbügelmesstechnik) während fünf Proben und Konzerten an bis zu 17 Positionen in Ohrnähe der Musiker aufgestellt. Die gesamten Dauerschallpegel betragen zwischen 85-95 dB(A). Die Mittelungspegel bei Sängern lagen zwischen 75 dB(A) und 109 dB(A), die höchsten Schallpegel bei bis zu 120 dB(A) (bei Alt und Mezzosopran). Dauerschallpegel aller Stimmlagen überschritten den Grenzwert für die Gefährdung des Gehörs. Eine begrenzte Entlastung erreichte man mit größeren Abständen zu den Blechbläsern. Für jeden Musiker wurde die gesamte Gehörbelastung als langfristiger Dauerschallpegel  $L_{eq}$  bezogen auf 40 Arbeitsstunden pro Woche berechnet. Die Langzeit-Schallbelastung war bei allen Orchestermusikern gehörgefährdend (Hohmann et al., 2003).

*Bray und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 2004 23 Discjockeys (5 Frauen und 18 Männer) zwischen 21 und 41 Jahren mit einer durchschnittlichen Berufsausübung von 8 Jahren. Schallpegelmessungen wurden mithilfe von Dosimetern durchgeführt, die an der Hose der Probanden befestigt waren. Die Mikrophone saßen auf der Schulter der DJ's. Die Schallpegelmessungen ergaben Lautstärken zwischen 79,8 und 107 dB(A), der Durchschnitt lag bei 103,2 dB(A) und die durchschnittliche Dauer bei 113 Minuten. Der durchschnittliche  $L_{eq}$  betrug 96,1 dB(A). 3 DJ's (13 %) zeigten einen lärminduzierten Hörverlust, 4 DJ's (17 %) hatten Zeichen einer frühen sensorineuralen Hörstörung. 2 DJ's (9 %) hatten einen einseitigen Hörverlust, aber sie gaben auch eine Perforation im Trommelfell in der Kindheit an. 14 DJ's (61 %) hatten ein normales Gehör. Der durchschnittliche Hörverlust der anderen Probanden betrug 20,5 dB. 20 DJ's (87 %) waren informiert über das Risiko einer Hörstörung durch laute Musik, und doch benutzten nur 3 Probanden (13 %) einen ausreichenden Gehörschutz während ihrer Arbeit. Die Mehrheit der Gruppe (16 DJ's, 70 %) hatten schon mal ein dumpfes Gefühl beim Hören nach einer Lärmexposition, das bis zu 2 Tage anhielt. Ebenso klagten 17 DJ's (74 %) über gelegentlichen Tinnitus. 19 DJ's (83 %) besuchten Nightclubs in ihrer Freizeit und jeder zweite DJ gab an, exzessiv Musik über Kopfhörer zu hören. Das durchschnittliche Alter und die durchschnittliche Berufsausübung der DJ's mit einem lärminduzierten Hörverlust lagen 7 bzw. 8 Jahre höher. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass DJ's ein Risiko haben, einen lärminduzierten Hörverlust zu entwickeln und der Schallpegel in Nightclubs in Bereichen liegt, die gehörschädigend sein können (Bray et al., 2004).

*Behar und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 2004 18 Musiklehrer aus 15 verschiedenen Musikschulen mittels Dosimetern, die einen „typischen“ Tag lang ihre tägliche Belastung durch die Musik erfassten. Die gemessenen äquivalenten Dauerschallpegel überstiegen bei 14 Gelegenheiten (78 %) das 85



dB(A)-Limit. Nur bei 4 Gelegenheiten lagen die gemessenen Werte unter 85 dB(A). Bei 7 Lehrern (39 %) überstieg der kalkulierte  $L_{ex}$  (bezogen auf einen 8 Stunden-Tag) das Limit von 85 dB(A), bei 11 Lehrern (61 %) lag er darunter. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass kein Unterschied zwischen verschiedenen Schulformen gesehen werden könne. Es bestehe ein potenzielles Risiko für Musiklehrer, einen Hörverlust durch ihre Arbeit zu erleiden (Behar et al., 2004).

*Juman* untersuchte im Jahr 2004 29 Mitglieder einer Band, so genannte Pannists und 31 Freiwillige als Kontrollgruppe. Zunächst mussten alle Probanden einen Fragebogen über eventuell bestehende Hörprobleme ausfüllen, die bisherige Dauer der Mitgliedschaft in solch einer Band, den Typ des Instrumentes und wie lange sie dieses Instrument schon spielen. Die Kontrollgruppe bestand aus normalhörenden Freiwilligen, die nie außerordentlichem Lärm ausgesetzt waren. Das Musikinstrument, das Steelpan genannt wird, kommt aus Trinidad und Tobago. Dieses Instrument wird aus Stahltrommeln hergestellt, die zum Transport von Öl verwendet werden. Indem man diese Trommeln von unten erhitzt, kann man durch Hämmern die Form so verändern, dass jede Trommel ihren eigenen Ton hat. Die so gefertigten Instrumente werden dann in Tenor, Cello, Bass etc. eingeteilt. Steelpans werden in Bands gespielt. Diese Musik wurde zum musikalischen Symbol der Karibik. Vor allem in der Karnevalsaison haben solche Bands viele Auftritte und zur Vorbereitung auf solch ein Event üben sie intensiv 6-8 Stunden/Tag über 3 Monate. Dabei sind die Musiker extrem hohen Lautstärken ausgesetzt. Signifikant mehr Steelpan-Spieler hatten einen Hörverlust bei 3000, 4000 und 6000 Hz. Je länger der Musiker schon sein Instrument spielte, desto größer war der Hörverlust. Ein normales Hörvermögen wurde definiert als ein Hörverlust von weniger als 20 dB, ein milder Hörverlust zwischen 20 und 35 dB, ein moderater zwischen 35 und 50 dB und ein gravierender bei mehr als 50 dB. Die Schallpegelmessungen ergaben Werte zwischen 99 und 110 dB(A). In der Gruppe der unter 30-Jährigen und in der Gruppe der 31- bis 40-Jährigen wurde kein Unterschied im Hörvermögen zwischen Musikern und Kontrollpersonen gefunden. In der Gruppe der 40-Jährigen fand sich ein signifikanter Unterschied bei den hohen Frequenzen. 6 der 9 (60 %) Schlagzeuger der Rhythmussektion der Band hatten einen Hörverlust, wohingegen nur 7 der 20 anderen Musiker einen Hörverlust aufwiesen. Keiner der 7 Steelpannists, die weniger als 10 Jahre gespielt hatten, wies einen Hörverlust auf. 4 der 10 (40%) Musiker, die zwischen 10 und 19 Jahren bereits in einer Band waren, hatten einen Hörverlust und 9 von 12 (66 %), die länger als 20 Jahre dabei waren, ebenfalls. Der Autor kam zu dem Schluss, dass Steelband-Musiker einem hohen Risiko ausgesetzt seien, einen Hörverlust durch die Musik zu erleiden (Juman, 2004).

*Dupasquier* untersuchte im Jahr 2005 307 Musiker aus 8 Berufsorchestern der deutschsprachigen Schweiz. Die Probanden mussten einen Fragebogen mit 150 Fragen zu Person, Arbeit, Privatbereich, Freizeit der Musiker sowie Angaben zu ihrer Gesundheit ausfüllen. Kernstück der Befragung war das von Rimann und Udris (1997) entwickelte standardisierte Erhebungsinstrument SALSA (Salutogenetische subjektive Arbeitsanalyse). Die Musiker füllten den Fragebogen freiwillig und in ihrer Freizeit aus. 50 % der Fragebögen kamen wieder an die Autorin zurück. Darin gaben 81 % der

Musiker einen guten bis hervorragenden physischen und 79 % einen ebensolchen psychischen Gesundheitszustand an. Bläser schätzten ihren Gesundheitszustand besser ein als andere Instrumentengruppen. Außerdem ging aus der Befragung hervor, dass jeder 7. Musiker Tinnitus habe, jeder 5. eine dauernde Höreinbuße beklage, jeder 4. an Lärmüberempfindlichkeit leide und knapp 8 % eine Hörstörung haben. Jeder 3. Musiker empfand das Spielen auf seinem Instrument sowie mit 28 % ein gelungenes Konzert als „Aufsteller“. Jeder 2. Musiker nannte einen schlechten Dirigenten einen „Ablöscher“. Die Autorin kam zu dem Schluss, dass die objektive Belastung der Musiker durch die hohen Schallpegel erwiesen sei. Das Gehör der meisten Musiker sei überdurchschnittlich gut, was an der schnelleren und präziseren Wahrnehmung von Tönen liegen könne (Dupasquier, 2005).

*Fleischer und Müller* untersuchten 187 Orchestermusiker im Alter zwischen 21 und 70 Jahren (Mittelwert 44 Jahre). Sie fanden in 83,4 % der Musiker ein besseres Gehör als nach ISO 1999 zu erwarten gewesen wäre und folgerten daraus, dass eine erhöhte Belastung des Gehörs zu einer erhöhten Resistenz des Gehörs gegen Hörverluste führe (Fleischer und Müller, 2005).

*Hagberg und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 2005 407 von 602 Musikstudenten (68 %) [218 Männer (mittleres Alter: 35 Jahre) und 189 Frauen (mittleres Alter: 34 Jahre)]. Sie kamen alle im Mittel im Alter von 22 Jahren an die Universität, die meisten begannen mit 8 Jahren zu musizieren. 21-24 % (87-96 Musiker) hatten mehr geübt als 20 Stunden/Woche. Die Inzidenz wurde definiert als die Anzahl an neuen Fällen pro 1000 Instrumentenjahre. Mehr als 20 Stunden in der Woche zu spielen, wurde als hohe Exposition betrachtet. Untersucht wurde die Inzidenz von Tinnitus, Hörstörungen und muskuloskelettalen Beschwerden im Hinblick auf die Anzahl der Übungsstunden und/oder des Instrumententyps vor Beginn der Beschwerden. Es stellten sich 96 Fälle von Tinnitus für 9079 Instrumentenjahre heraus, was eine Inzidenz von 10,6 pro 1000 Instrumentenjahre darstellt. 60 Fälle von Hörverlust für 9187 Instrumentenjahre gibt eine Inzidenz von 6,5 pro 1000 Instrumentenjahre. Für die muskuloskelettalen Beschwerden ergibt sich eine Inzidenz von 2,3-4,6. 1,75mal höhere Inzidenz von Hörverlusten für Musiker mit mehr als 20 Übungsstunden/Woche. 1,87mal höhere Inzidenz von Hörverlusten im Vergleich von Streichern mit Pianisten und Keyboardern. 13 Musiker waren schon mal wegen Hörproblemen krankgeschrieben und 8 Musiker hatten aufgehört zu spielen. Das Studiendesign stellt eine retrospektive Kohortenstudie dar. Dabei stellt sich das Problem der Recall-Bias. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass ein hoher Übeaufwand ein Risikofaktor für die Inzidenz von Hörverlusten sei. Ein hoher Übeaufwand und Spielen von Geige oder Bratsche seien Risikofaktoren für muskuloskelettale Beschwerden. Unter den muskuloskelettalen Beschwerden sei die höchste Inzidenz für Schmerzen im Nacken und in der linken Schulter (4,4-4,6) (Hagberg et al., 2005).

*Laitinen* untersuchte im Jahr 2005 5 große Orchester in der Region um Helsinki, eine Militär-Brass-Band und 4 Symphonieorchester (134 Männer und 62 Frauen). 43 % der Musiker spielten schon seit über 20 Jahren in einem Profiorchester. Die Schallpegelmessungen überschritten alle das national

empfohlene Level. Außerdem wurde eine Befragung anhand eines Fragebogens über Alter, Geschlecht, Instrumentengruppe, Spielerfahrung, Gehörschutz, Ohrsymptome wie Tinnitus, Hörverlust, Ohrenschmerzen, zeitweises Klingeln in den Ohren, Stress und Arbeitsumfeld, sowie das Benutzen von Gehörschutz und die damit verbundenen Probleme durchgeführt. Insgesamt beantworteten 51 % der Musiker den Fragebogen (Streicher (55 %), Flöten (3 %), Holzbläser (17 %), Blechbläser (18 %), Schlagzeug (5 %) und andere (2 %)). 94 % der Musiker waren wegen ihres Gehörs beunruhigt, doch nur 6 % der Musiker benutzten regelmäßig einen Gehörschutz. 31 % der Musiker klagten über einen Hörverlust, 37 % über zeitweiligen Tinnitus, 15 % der Frauen und 18 % der Männer über permanenten Tinnitus, 43 % über Hyperakusis. Gehörschutz wurde vermehrt von Musikern getragen, die Hörprobleme hatten (20 %) als von denen ohne Symptome (6 %). Stress wurde in 60 % der Fälle angegeben, Musiker mit Ohrproblemen waren 3-9mal mehr gestresst und empfanden ihre Berufsumfeld als lauter. Der Autor kam zu dem Ergebnis, dass die Musiker selten Gehörschutz vor Beginn der Symptome benutzten. Sie haben eine hohe Prävalenz an Ohrsymptomen, wobei die Musiker der Brass-Band die meisten dauerhaften Tinnitusbeschwerden aufwiesen (Laitinen, 2005).

*Lee und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 2005 67 Musiker der kanadischen Oper. Schallpegelmessungen wurden während 18 Sessions durchgeführt, die Proben und Aufführungen beinhalteten. 73 Lärmexpositionen wurden gemessen, indem fünf Dosimeter über die gesamte Dauer jedes Events benutzt wurden. Den ISO 1999 Standards folgend, indizieren die Ergebnisse, dass kein Risiko für Musiker im Orchestergraben bestehe, einen Hörverlust zu erleiden. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass keine Schallpegel gemessen wurden, die für Musiker im Orchestergraben gehörschädigend sein könnten (Lee et al., 2005).

*Schmuziger und Mitarbeiter* untersuchten im Jahr 2006 42 nichtprofessionelle Pop- und Rockmusiker. Die Idee dieser Studie war, das Gehör und die subjektiven auditorischen Symptome zu evaluieren. Die Musiker waren in den letzten fünf Jahren starken Lärmpegeln ausgesetzt. Es wurde ein Reintonaudiogramm und ein Hochfrequenzaudiogramm durchgeführt. Es wurden subjektive Lautstärkepegel gemessen, bei denen die Lautstärke als unangenehm empfunden wurde. Außerdem wurde untersucht, ob ein Tinnitus und/oder eine Überempfindlichkeit gegenüber Lärm vorhanden ist. Ausschlusskriterien der Studie waren: Z.n. akustischem Trauma, exzessive Lautstärken am Arbeitsplatz, rezidivierende Otitis media, Z.n. Ohroperationen, Z.n. Schädelfraktur, Einnahme von potenziell ototoxischen Substanzen, positive Familienanamnese bei Ohrerkrankungen und Hörverlust. Die erhobenen Daten wurden mit einer Kontrollgruppe von 20 gesunden jungen Erwachsenen verglichen, die keiner Lärmexposition ausgesetzt waren. Nach Miteinbezug von Alter und Geschlecht, relativ gesehen zur ISO 7029, lag die durchschnittliche Hörschwelle im Frequenzbereich von 3-8 kHz bei den Musikern bei 6 dB und in der Kontrollgruppe bei 1,5 dB. Ein signifikanter Unterschied ließ sich ebenso differenzieren bei Musikern, die regelmäßig einen Gehörschutz verwendeten (2,4 dB durchschnittliche Hörschwelle), verglichen mit der Gruppe, die nie einen Gehörschutz trug (8,2 dB

durchschnittliche Hörschwelle). Elf Musiker (26 %) reagierten überempfindlich auf Lärm und sieben (17 %) wiesen bereits einen Tinnitus auf. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass Laienmusiker im Pop-/Rockmusikbereich signifikant mehr Hörverluste als Musiker erlitten, die regelmäßig einen Gehörschutz trugen oder als eine nicht lärmexponierte Kontrollgruppe (Schmuziger et al., 2006).

### 3.8 Reviews in der Literatur

In der Studienanalyse von *Irion 1978* wurden die Folgen von Musik bei Musikern, Discjockeys, Tontechnikern, Diskothekenpersonal und Gästen untersucht und ausgewertet. „Lärm“ ist nach Klosterkötter unerwünschter, störender, belästigender, erregender oder gehörschädlicher Schall. *Schmale und Schmitdke* fanden heraus, dass für Orchestermusiker klimatische und optische Beruferschwernisse von größerer Bedeutung seien als die Lärmbelastung. Außerdem haben sie die Pulsfrequenz und Fingertemperatur der Musiker gemessen und als Ausdruck der vegetativen Reaktionslage die Adrenalin-Dionin-Probe durchgeführt. Aus den Ergebnissen folgerten die Autoren, dass die psychophysische Belastung vor allem während öffentlicher Aufführungen und bei Operaufführungen, insbesondere zu Beginn der Vorstellungen, groß sei. Sie stellten außerdem eine höhere Belastung der Bläser im Vergleich zu den Streichern fest. Reaktionen bei der Adrenalin-Dionin-Probe, die insbesondere am Ende der Spielzeit auftraten, wurden als Ausdruck der tätigkeitsspezifischen Belastungen durch den Auftritt und weniger als lärmbedingte Reaktionen interpretiert.

Die Gehörschädlichkeit von Musik lässt sich am besten anhand des Beurteilungspegels bestimmen, jedoch ist die Ermittlung des Pegels bei Musik außerordentlich schwierig. Die Intensität ist für die Gehörschädlichkeit von entscheidender Bedeutung, sie ist abhängig von der Art der Musik, vom Messort, von den räumlichen Gegebenheiten und von der Verwendung und Qualität der Verstärker. Die Frequenzverteilung spielt ebenso eine wichtige Rolle, da Geräusche, deren Schallpegel vorwiegend von tiefen Frequenzen bestimmt wird, weniger gehörschädlich sind als solche, die vorwiegend aus hohen Frequenzen bestehen. Schmalbandgeräusche rufen ganz allgemein schneller eine Innenohrschädigung hervor als Breitbandgeräusche gleichen Schallpegels, Gleiches gilt für reine Töne. Töne und Schmalbandgeräusche führen zu einer stärkeren Hörermüdung als Breitbandgeräusche gleichen Schallpegels. Die Ursache ist wahrscheinlich in der starken Belastung eines begrenzten Cochleaabschnitts zu suchen. Intermittierende Geräusche rufen bei gleichem Schallpegel eine geringere TTS<sub>2</sub> als Dauergeräusche hervor und sind somit als weniger gehörschädlich anzusehen. Impulsgeräusche sind kurzdauernde Geräusche, bei denen hohe Schalldruckspitzen in sehr kleinen Zeiträumen erreicht werden. Die Gehörschädlichkeit von Impulsgeräuschen ist größer als die entsprechender Dauergeräusche. Zur Ermittlung von Beurteilungspegeln ist die Expositionsdauer wichtig. Sie ist unterschiedlich lang und wird von den Betroffenen selbst angegeben. Hinzu kommt, dass die Fluktuation des Personals in Diskotheken groß ist und somit die Lärmexposition wechselt.

Außerdem sind die Gegebenheiten in den Lokalen sehr unterschiedlich. Nach der VDI-Richtlinie 2058, Blatt 2 /100 wird mit einem Halbierungsparameter von drei gerechnet, d.h., der Beurteilungspegel darf statt 90 dB(A) 93 dB(A) betragen, wenn die Expositionsdauer von acht auf vier Stunden herabgesetzt wird und 96 dB(A), wenn diese auf zwei Stunden reduziert wird. Aus mehreren Studien ergab sich, dass Toningenieure bei der Aufnahme von klassischer und halbklassischer Musik ungefährdet seien, und dass bei Unterhaltungsmusik und Hitparaden eine Gehörschädigung weitgehend ausgeschlossen sei. Bei der Registrierung von Rock´n´Roll Musik müsse hingegen stets mit Hörschäden gerechnet werden. Die Angaben der verschiedenen Autoren über den Beurteilungspegel sind sehr widersprüchlich. Es erscheint aber möglich, bezüglich der Gehörschädlichkeit der Musik eine Differenzierung nach der Art der Musik vorzunehmen. Die Tatsache, dass Musiker normalerweise besser hören als die übrige Population, lässt das Ausmaß der beobachteten Hörverluste schwerwiegender erscheinen, als es den gemessenen Werten entspricht. Die Entwicklung einer Gehörschädigung ist abhängig von physikalischen Faktoren der Musik. Sie umfassen Intensität, Frequenzverteilung, Impuls- und Tonhaltigkeit, Art der Musik, Dauer der Lärmeinwirkung, Kontinuität oder Unterbrechung der Musik, wöchentliche Exposition der Musiker oder Zuhörer, Dauer der Musikausübung und individuelle Faktoren. Klassische Musik kann im Allgemeinen sowohl für Musiker als auch für Zuhörer als nicht gehörschädlich betrachtet werden, wenn auch kurzfristig sehr hohe Schallpegel erreicht werden. Das schließt nicht aus, dass ein geringer Teil der Musiker, insbesondere Geiger, im Laufe eines Berufslebens eine gering- bis mittelgradige Innenohrschwerhörigkeit entwickeln kann. Unschädlichkeit ist auch für „Semiclassical“ Musik und Hitparaden anzunehmen, wohingegen Unterhaltungsmusik potenziell gehörschädlich sein kann (v. a. für Toningenieure). Rock´n´Roll und Beatmusik kann sicher nicht als völlig unschädlich, ebenso wenig aber als gehörschädigend bezeichnet werden. Der A-bewertete Schallpegel liegt in Diskotheken und Beatlokalen meist um 90 dB(A). Der unbewertete Schallpegel liegt meist um 100 dB. Die größte Intensität ist meist unterhalb von 1000 bis 2000 Hz zu finden. Die Impulshaltigkeit der Rock´n´Rollmusik in Diskotheken ist mäßig. Bleibende Hörschwellenverschiebungen traten bei 13-87 % der Musiker und Discjockeys auf. Rock´n´Roll und Beatmusik in Diskotheken und Tanzlokalen ist potenziell gehörschädigend, es kommt bei Musikern und Angestellten dieser Lokale nicht nur zu geringfügigen Hörsenken, sondern in Einzelfällen auch zur Entwicklung einer Lärmschwerhörigkeit. Bezüglich der Zuhörer kann eine Gehörschädigung nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Besonders gefährlich für das Gehör wird es, wenn außerberuflicher und beruflicher Lärm zusammentreffen, da dadurch die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung einer Lärmschwerhörigkeit stark zunimmt. Individuelle Faktoren, wie Alter, Geschlecht, Gehörschäden und die individuell sehr unterschiedliche Lärmfestigkeit, sind für die Entwicklung eines lärminduzierten Hörschadens von zentraler Bedeutung. Die Musik bezweckt nicht zuletzt, dass direkt auf das Vegetativum eingewirkt wird. Die vegetativ anregende Wirkung von Schallreizen wird zusammen mit dem scharf akzentuierten Rhythmus benutzt und manchmal durch grelle, mit dem Rhythmus synchrone, Lichtreize gesteigert. Die Schallreize werden bewusst bis an die Grenze der Schmerzhaftigkeit gesteigert. Maßnahmen zur

Verhinderung von Gehörschäden durch die Musik bestehen in Gehörschutz, in der Begrenzung der Lautsprecherpegel, Hörtests und Aufklärung (Irion, 1978).

*Jansson, Axelsson und Lindgren* betrachteten in ihrem Review nochmals zwei Studien näher, die zu unterschiedlichen Ergebnissen kamen. Die erste wurde 1981 von Axelsson und Lindgren durchgeführt und die zweite 1983 von Karlsson. In der ersten Studie hatten mehr Musiker als erwartet eine Hörstörung, während in der zweiten Studie die Musiker als Gruppe genommen ein normales Hörvermögen aufwiesen. Symphonische Musik erreichte Schallpegel um 85 dB(A) und manchmal auch darüber. Die Schallpegel innerhalb des Orchesters differierten um 5 dB. Die Musiker im Alter zwischen 40 und 49 Jahren zeigten ein normales Hörvermögen. Individuell betrachtet, hatten mehr Musiker ein schlechteres Gehör als eine Population, die keinem Lärm ausgesetzt ist. Aus beiden Studien ließ sich nur schwer ableiten, inwieweit bestimmte Instrumentengruppen das Gehör mehr schädigten als andere.

Die durchschnittlichen äquivalenten Schallpegel in den Orchestern lagen nahe den Limits, die in der Industrie erlaubt sind. Bei lauter Musik in exponierten Positionen erreicht die Lautstärke im Orchester 5 dB mehr als in normalen Positionen. Bei den Hörtests zeigte sich, dass mindestens 75 % der Musiker ein normales Hörvermögen hatten. Unter den verbleibenden 25 % zeigten sich Tendenzen zu einer Höreinbuße (*Jansson, Axelsson, Lindgren: Do musicians of the symphony orchestra become deaf?*)

*Palin* gab 1994 einen Überblick über die wichtigsten Studien:

*Die frühe Literatur: 1960-1970*

Arnold und Miskolczy-Fodor untersuchten 30 Pianisten bei der Arbeit. 105 Pianisten wurden dazu eingeladen, doch nur 30 nahmen teil. Im Alter zwischen 60 und 80 Jahren hatten die Musiker ein besseres Gehör als die allgemeine Bevölkerung für ihr Alter. Die Männer hatten allgemein ein schlechteres Gehör als die Frauen. Schalldruckpegel, die am Kopf der Musiker gemessen wurden, erreichten 93 dB. Die Autoren folgerten daraus, dass die gemessenen Schallpegel zwischen 64 und 93 dB nicht gehörschädigend seien. Es wurden hier aber keine Dauerschallpegel gemessen und keine Analyse der Expositionsdauer durchgeführt.

Bei Flach und Aschoff 1967 wurden leider alle Schallpegelmessungen in DIN-Phon durchgeführt. Die Geiger waren hier auf dem linken Ohr einem größeren durchschnittlichen Schallpegel ausgesetzt als auf dem rechten Ohr. 277 Musiker wurden hier audiometrisch untersucht, wobei nie eine Testung nach einer Probe oder einem Konzert durchgeführt wurde. Ein moderater Hörverlust wurde bei 14,5 % der Streicher, 8,5 % der Holzbläser und 2,2 % der Blechbläser gefunden. Was die Autoren aber mit einem moderaten Hörverlust meinten, wurde nicht definiert. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass Orchestermusiker nicht der Gefahr eines lärminduzierten Hörverlustes ausgesetzt seien.

*Literatur der 80er Jahre:*

1981 untersuchten Westmore und Eversden 34 Orchestermusiker, von denen 23 der 68 Ohren Hörverluste zeigten, die auf eine Lärmexposition zurückzuführen seien. Die Mehrzahl dieser Fälle

zeigte jedoch nur eine kleine oder frühe Veränderung. Wann die audiometrischen Untersuchungen durchgeführt wurden, wurden nicht näher erläutert. Vier Musiker hatten einen Hörverlust mit mehr als 20 dB bei 4 kHz. Die meisten Hörverluste fanden sich in der Gruppe der Holzbläser. Bei Gryczynska und Czyzewski fand man elf Musiker mit einem klar lärminduzierten Hörverlust. Nur 16 der 51 Musiker wiesen ein normales Gehör auf.

1981 untersuchten Axelsson und Lindgren 139 Musiker und führten Schallpegelmessungen in zwei Orchestern durch. An der Studie nahmen 17 Frauen und 122 Männer teil. Das linke Ohr war in allen Altersgruppen schlechter zwischen 3 und 6 kHz. Bei der Definition von einem Hörverlust ab  $\geq 20$  dB bei einer Frequenz oder auf einem Ohr hatten 80 Musiker bereits einen Hörverlust. Um die Presbyakusis zu beachten, verglichen Axelsson und Lindgren ihre Ergebnisse mit den Daten von Spoor 1967. 59 Musiker hatten dann ein Gehör, das schlechter war, als für ihr Alter angenommen werden konnte. Die Musiker, die vor einer Wand saßen, hatten ein erhöhtes Risiko von 2,7 für beide Ohren. Die Streicher zeigten einen durchschnittlichen Hörverlust größer als 20 dB bei 6 kHz nur auf dem linken Ohr. Die Holzbläser hatten Hörprobleme in beiden Ohren und die Blechbläser vor allem auf dem linken Ohr. Die Schlagzeuger zeigten das beste Gehör mit den Streichern, gefolgt von den Holz- und Blechbläsern. Insgesamt ergibt sich aus den meisten Studien, dass eine Gefahr für das Gehör der Musiker besteht. Es scheint möglich, dass eine sorgfältige Planung des Repertoires des Orchesters eine generelle Lösung darstellt, um die Schallpegel zu reduzieren. Außerdem kann es für die Musiker sinnvoll sein, einen Gehörschutz zu tragen, wobei für die Klarinetten diese Präventionsmöglichkeit nicht in Frage kommt, da diese eine zu starke Vibration der Knochen verursachen (Palin, 1994).

*Sataloff* betrachtete 1995 viele Veröffentlichungen zum Thema Hörverlust bei Instrumentalisten. Dabei zeigte sich weder in den Ergebnissen noch in der Qualität der Studien eine Konstanz. Er stieß zum Teil auf verwirrende und widersprüchliche Studien. Vorläufig kam er zu dem Schluss, dass nach Studienlage lärminduzierte Hörverluste sowohl bei Popmusikern als auch bei klassischen Musikern vorkommen und in ursächlicher Beziehung zur Belastung mit lauter Musik stehen. Im Allgemeinen scheint es so zu sein, dass der Hörverlust bei klassischen Musikern nicht schwer wiegend genug ist, um die Sprachwahrnehmung zu beeinträchtigen. Die Auswirkungen geringer Hörverluste im Hochfrequenzbereich auf die musikalische Darbietungskunst sind aber bisher noch ungeklärt. Darüber hinaus hält er es für möglich, Methoden für einen Hörschutz für Musiker zu finden, die das Gehör des Musikers schützen, ohne die Darbietung zu behindern. Dadurch, dass die Hörverluste die sprachliche Kommunikation nicht beeinträchtigen, besteht bei musikinduzierten Hörverlusten meist kein gesetzlicher Entschädigungsanspruch. Da Berufsmusiker aber eine wesentlich bessere Hörschärfe in einem größeren Frequenzspektrum benötigen, muss untersucht werden, ob der durch Musik verursachte Hörverlust schwerwiegend genug ist, um die künstlerische Leistungsfähigkeit zu mindern. Wenn dies der Fall ist, sollten neue Kriterien der Entschädigungsbedürftigkeit von Hörstörungen bei Musikern erarbeitet werden. Musiker mit und ohne Hörschäden sollten routinemäßig vor außerberuflicher Lärmexposition ohne Gehörschutz (Jagd, Motorräder, Maschinen, usw.) sowie ototoxischen Medikamenten gewarnt werden. Zusätzlich sollten sie über die Wichtigkeit der sofortigen

Untersuchung bei einer plötzlich eintretenden Veränderung des Hörvermögens aufmerksam gemacht werden (Sataloff, 1995).

*Marquard und Schäcke* versuchten im Jahr 1998 in ihrem Review die bis dato bekannten Studien zum Thema Hören von Orchestermusikern qualitativ zu beurteilen. Die von ihnen vergleichend betrachteten audiometrischen Untersuchungen unterschieden sich methodisch durch die Auswahl der Beurteilungskriterien, der Probanden, der statistischen Verfahren und des Untersuchungszeitpunktes. Zeleny et al. 1975, Gryczynska und Czyzewski 1977, Frei 1979, Rabinowitz et al. 1982, Woolford et al. 1988 und Ostri et al. 1989 beurteilten die Audiogramme ihrer Probanden ohne Berücksichtigung des Alters und des Geschlechts. Arnold und Miskolczy-Fodor 1960, Berghoff 1968, Jatho und Hellmann 1972, Axelsson und Lindgren 1981 und Schäcke et al. 1987 zogen altersbezogene Referenzwerte zur Beurteilung der einzelnen Audiogramme heran. Berghoff 1968, Jatho und Hellmann 1972, Axelsson und Lindgren 1981, Karlsson et al. 1983, Ostri et al. 1989 und Royster et al. 1991 verglichen die Mittelwerte bzw. Mediane des in Altersklassen unterteilten Gesamtkollektivs mit altersbezogenen Referenzwerten. Johnson et al. 1986 und Royster et al. 1991 verglichen einzelne Teilgruppen des untersuchten Kollektivs nach Alterskorrektur untereinander. Die Kriterien für die Auswahl der Probanden blieben bei Flach und Aschoff 1966, Westmore und Eversden 1981 sowie bei Woolford et al. 1988 unklar. Einige Studien hatten nur eine geringe Anzahl an Probanden, wie z.B. Woolford et al. 1988, Gryczynska und Czyzewski 1977, Westmore 1981 und Royster et al. 1991. Die Autoren schlussfolgerten, dass die Ergebnisse der bisher vorliegenden audiometrischen Untersuchungen an Musikern bezüglich einer besonderen Gehörgefährdung widersprüchlich seien. Diese Widersprüche seien insbesondere methodischer Natur. Es sei wahrscheinlich, dass berufliches Musizieren zumindest in einzelnen Fällen zu Hörminderungen erheblichen Ausmaßes führe. Neben Art und Umfang der beruflichen Schallbelastung schein hierfür auch die individuelle Lärmempfindlichkeit von Bedeutung zu sein (Marquard und Schäcke, 1998).

*Teie* erläuterte in seinem Review 1998:

Die Literatur hat über die letzten 10 Jahre gezeigt, dass Musiker nicht nur gehörschädigenden Schallpegeln ausgesetzt sind, sondern dass diese auch einen evidenten Hörverlust verursachen können. Die Schallpegel in Symphonieorchestern übersteigen die erlaubten OSHA-Kriterien. Einige Studien haben gezeigt, dass Geiger auf dem linken Ohr einen größeren Hörverlust erleiden als auf dem rechten. Dies wird darauf zurückgeführt, dass das linke Ohr mehr dem Schall ausgesetzt ist, während das rechte im Schallschatten des Kopfes des Musikers und weiter entfernt von der Schallquelle liegt. Der entstandene Hörverlust ist meist klein, jedoch sind die Musiker in besonderer Weise auf ihr Gehör angewiesen. Daher kann eine Senke bei 3-6 kHz verursachen, dass nicht mehr alle Töne und vor allem auch Obertöne gehört werden. Auch Sänger, die einen hochfrequenten Hörverlust haben, können eventuell nicht mehr die Klarheit ihrer Stimme bewahren. Zum Schutz des Gehörs der Musiker können verschiedene Methoden versucht werden. Zum einen kann die Lautstärke des Orchesters verringert werden, es können Plexiglasbarrieren aufgestellt werden, die die Musiker,



die direkt vor den Blechbläsern und Schlagzeugern sitzen, schützen, das Konzertprogramm kann durch eine ausgewogene Mischung von lauten und leisen Stücken verändert werden und zum anderen können die Musiker selbst ihr Gehör durch Gehörschutzmittel einem geringeren Schallpegel aussetzen. Die herkömmlichen Gehörschutzstöpsel der Industrie haben einen höheren Dämmeffekt auf die höheren Frequenzen und verursachen häufig einen Okklusionseffekt. Für Sänger und Instrumentalisten, deren Instrument mit dem Kopf oder dem Gesicht in Verbindung stehen, ist das ein signifikantes Problem. Etymotic Research hat daher eine Reihe von Gehörschutzstöpseln für Musiker entwickelt: ER-15, ER-25, ER-20 und Hifi schützen das Gehör mit bis zu 30 dB Dämmung auf der gesamten Frequenzbreite. Diese Stöpsel kann man auch gefenstert erhalten, sodass der Okklusionseffekt verringert wird. Wenn eine der folgenden Fragen mit einem „Ja“ beantwortet wird, ist diese Person durch einen lärminduzierten Hörverlust gefährdet: Müssen Sie bei Studioaufnahmen oder Aufführungen schreien, um von anderen gehört zu werden? Haben Sie jemals ein Klingeln im Ohr über Stunden oder sogar einen Tag nach einer Aufführung vernommen? Haben Sie den Musikschall gegen Ende eines arbeitsreichen Tages mal als verzerrt erlebt? Waren Sie mal von Stimmengewirr umgeben, nachdem sie Musik für längere Zeit ausgesetzt waren? Haben Sie ein Vertäubungs- oder Wattegefühl in den Ohren nach Musikexposition? Die Musiker sollten präventiv jedes Jahr audiometrisch untersucht werden. Am besten ist der Audiometrie auch noch eine Messung der otoakustischen Emissionen beizufügen, die besser die cochleäre Funktion messen kann. Die folgenden Hinweise helfen zusätzlich, den Hörschaden zu minimieren: Lärm über 85 dB(A) sollte möglichst vermieden werden, wann immer möglich, reduzieren Sie den Schall an der Lärmquelle oder vergrößern Sie ihren Abstand zu ihr, tragen Sie einen ausreichenden Gehörschutz, gönnen Sie ihren Ohren nach einer Lärmexposition eine Ruhephase von 24-48 Stunden (Teie, 1998).

*Behar* und Mitarbeiter analysierten im Jahr 2006 in einem weiteren Literaturreview 13 Studien, die sich mit der Lärmexposition eines Orchestermusikers beschäftigen und in den letzten 15 Jahren durchgeführt wurden, von denen jedoch nur sechs eigene audiometrische Untersuchungen vorlegten (McBride et al., 1992; Obeling und Poulsen, 1999; Kähari et al., 2001 a, b; Eaton und Gillis, 2002; Fleischer und Müller, 2005). Die Frage, ob Musiker gefährdet seien, einen Hörverlust durch die Ausübung ihres Berufes zu erleiden, konnten Behar und Mitarbeiter anhand der Daten aus der Literatur nicht klar beantworten. In Ergänzung zu den bisher vorgebrachten Argumenten wiesen sie darauf hin, dass einige Autoren davon ausgehen, dass möglicherweise die begrenzte Zeitdauer, die ein Musiker bei Proben oder Konzerten solchen Schallpegeln ausgesetzt sei, verhindere, dass ein Musiker einen Hörverlust erleide. Die Expositionsdauer eines Musikers verändere sich von Tag zu Tag. Der Zyklus von Proben und Konzerten verändert sich immer wieder mit einem anderen Programm, das gespielt werde. Daher sei es äußerst schwierig, die Expositionsdauer eines Musikers genau festzulegen. Außerdem spielen Musiker nicht nur im Orchester, sie unterrichten, sie spielen in kleineren Ensembles und sie üben für sich alleine. Daher sei ihre Exposition immer höher als die resultierende Orchesteraktivitätsexposition. Zusammenfassend kommen die Autoren nach Analyse der aktuellen Studien der letzten 15 Jahre zu dem Schluss, dass ein Hörverlust unter Orchestermusikern

nur als minimal oder nicht existent eingestuft werde. Allerdings kritisieren die Autoren, dass die Daten mangelhaft erhoben seien und dass einige Rückschlüsse der Autoren auf nicht exakt erhobenen Daten beruhen und damit nicht oder nur wenig aussagekräftig seien. Interessanterweise wurden von einigen Autoren in neueren Studien geringere Schäden gefunden, als es nach ISO 1999 und 7029 zu erwarten gewesen wäre (Obeling und Poulsen, 1999; Kähari et al., 2001 a, b).

Mc Bride und Mitarbeiter schlossen im Jahr 1992 aus Schallpegelmessungen, dass manche Musiker Lärmpegeln ausgesetzt seien, die das erlaubte Limit übersteigen und somit gehörschädigend für den Musiker sind. Aber die Autoren machten auch deutlich, dass man keine genaue Expositionszeit und damit Belastungszeit für das Gehör des Musikers angeben könne, da er so viele andere musikalische Aktivitäten außerhalb des Orchesters wahrnehme. Bei Mc Bride zeigten sich beim t-Test keine signifikanten Unterschiede in den hohen Frequenzen, dafür hingegen bei den tiefen zwischen 0,25, 1 und 2 kHz. Für dieses Phänomen wurde allerdings keine Erklärung gegeben. Mc Bride konnte das reale Risiko für einen Musiker, einen Hörverlust zu erleiden, nicht einschätzen. Mikl 1995 teilte die Orchestermusiker in seinen Untersuchungen in drei verschiedene Risikogruppen ein: niedriges Risiko bei einem  $L_{Aeq, 8h} < 85$  dB(A), mittleres Risiko bei einem  $L_{Aeq, 8h}$  85-90 dB(A) und hohes Risiko bei einem  $L_{Aeq, 8h} > 90$  dB(A). Er kommt zu dem Ergebnis, dass Konzertanhörer und der Dirigent keinem Risiko ausgesetzt seien, dass aber die Musiker schon einen Hörverlust davontragen könnten. In einer anderen Studie von Mikl untersuchte er verschiedene Instrumentengruppen und nahm Schallpegelmessungen für jedes Instrument vor. Die höchsten Lautstärken wurden von den Blechbläsern und den Schlagzeugern produziert. Aber es kann von den Lautstärken nicht direkt auf die Belastung der einzelnen Musiker geschlossen werden.

Williams nahm bei drei Orchestern Schallpegelmessungen vor und kam zu dem Ergebnis, dass die Lautstärken und damit das Gehör der Musiker im Orchestergraben mehr belastet werde als auf einer Bühne. Trotzdem kam der Autor zu dem Ergebnis, dass Orchester kein großes Lärmproblem aufzuweisen hätten.

Obeling und Poulsen untersuchten 1999 vier dänische Orchester. Nachdem sie ihre selbst gewonnenen Ergebnisse mit den Referenzdaten der ISO 7029 verglichen hatten, kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass kein nennenswerter Hörverlust durch das Spielen in einem Symphonieorchester verursacht werde.

Kähari (2001) konnte keinen ernstzunehmenden Hörverlust durch klassische Musik nachweisen, auch nicht nach einem Zeitraum von 16 Jahren.

Beale (2002) untersuchte einige Musiker und nahm Schallpegelmessungen vor. Leider gibt es in dieser Studie nur Daten der Blasinstrumente und es wird auch nicht näher angegeben, bei welchen Konzerten oder Proben diese Messungen stattfanden. Die Grenze von 85 dB(A) wurde nur von Trompeten und Hörnern überschritten. Außerdem stellte Beale fest, dass Musiker im Orchestergraben einem höheren Schallpegel ausgesetzt seien als Musiker auf einer Bühne, aber er beschreibt nicht näher, wie viel höher der Schallpegel im Orchestergraben liegt.

Bei Eaton und Gillis konnte festgestellt werden, dass manche Hörverluste auf eine Exposition mit klassischer Musik zurückzuführen seien, dass aber generell kein signifikanter Unterschied zu einer nicht-exponierten Bevölkerung bestehe.

Boassen (2002) kam zu dem Schluss, dass nach einer Exposition von 30 Jahren in derselben Lärmumgebung eines Orchesters durchaus ein Hörverlust zwischen 2 und 6 kHz entstehen könne.

Laitinen (2003) fand heraus, dass die meisten Musiker durch die laute Arbeitsumgebung überbeansprucht seien. Er legte eine jährliche Expositionszeit von 1500 h zugrunde.

Lee et al. konnte kein Risiko für Musiker feststellen. Er verglich seine Daten auch mit den Standardwerten der ISO 1999.

Insgesamt kommt Behar nach der Analyse der oben beschriebenen Studien zu dem Ergebnis, dass ein Hörverlust unter Orchestermusikern nur als minimal oder nichtexistent eingestuft werde. Allerdings bemängelt er einige Voraussetzungen, die die meisten Studien nicht erfüllt haben: die Beschreibung der technischen Messausrüstung; die Daten, die erhoben werden, können oftmals nicht nachvollzogen werden, da wichtige Details nicht angegeben werden; einige Rückschlüsse der Autoren beruhen auf nicht exakt erhobenen Daten und sind damit nicht oder nur wenig aussagekräftig. Er gibt folgende Hinweise, die bei kommenden Studien unbedingt beachtet werden sollten:

- Die Schallpegelmessungen sollten während der gesamten Expositionsperiode stattfinden, z.B. in Form von Schallmessern, die im Instrument integriert sind.
- Alle Messdetails sind von Bedeutung und müssen dargelegt werden.
- Die Erklärungen über die Kalkulationen müssen im Paper enthalten sein, damit die Aussagekraft der Ergebnisse nachprüfbar ist.
- Hörverlust ist das Ergebnis einer langen Exposition gegenüber hohen Schallpegeln, daher sollten die gemessenen Expositionslevel genormt werden und z.B. als  $L_{AX,year}$  angegeben werden.
- Die Messergebnisse sollten in Beziehung gesetzt werden zu den audiometrischen Testergebnissen der Musiker und die Ergebnisse sollten mit den Vorgaben der ISO 1999 verglichen werden (Behar, 2006).

### **3.9 Vergleich Musik/Industrielärm**

Bei Strasser, Irle und Scholz wurde der Unterschied der Gehörgefährdung durch verschiedene Musikrichtungen anhand von Vertäubungsexperimenten mit 4 verschiedenartigen Expositionen mit einem Mittelungspegel  $L_m$  von jeweils 94 dB(A) über eine Expositionszeit von 1 Stunde untersucht.

In einer ersten Versuchsreihe (VR I) handelte es sich um weißes Rauschen als neutrales Referenzgeräusch. In einer zweiten Versuchsreihe (VR II) wurde Industrielärm als Belastungsgeräusch gewählt, bei dem neben einem breitbandigen Grundgeräusch des Maschinenparks eines metallverarbeitenden Betriebes auch zahlreiche Impulse durch Hammerschläge, herabfallende Bleche

und Rohre enthalten sind. In VR III wurde eine Zusammenstellung typischer Heavy Metal-Musik eingespielt, wohingegen bei VR IV Probanden mit klassischer Musik beschallt wurden.

Jede Versuchsperson wurde in randomisierter Reihenfolge an verschiedenen Tagen allen 4 Belastungen ausgesetzt. Als Testpersonen wurden nur gehörgesunde Personen ausgewählt.

Nach den ersten 2 Minuten der Schallbelastung wurde durch mehrere Messungen die Frequenz der maximalen Vertäubung  $TTS_2$  eines Probanden bestimmt. Danach wurde die Rückwanderung der Hörschwellenverschiebung zu festgelegten Zeitpunkten bis zum Erreichen der Ruhehörschwelle gemessen.

Nach der Beschallung mit Industrielärm kam es im Mittel zu systematischen Vertäubungen um etwa 20 dB, die mit der Zeit wieder abnahmen und nach 2 Stunden völlig verschwunden waren.

Nach Beschallung mit Heavy Metal-Musik von 94 dB(A) über 1 Stunde ergaben sich wieder 20 dB Hörschwellenverschiebungen, die erst nach 2 Stunden wieder verschwanden.

Bei der Versuchsreihe mit klassischer Musik ergaben sich wesentlich geringere Vertäubungen mit um die 11 dB, was etwa nur halb so groß ist wie nach den anderen Belastungen. Diese Vertäubungen verschwanden bereits nach 1 Stunde wieder völlig.

So kann man feststellen, dass die Vertäubungen nach Industrielärm und Heavy Metal-Musik etwa gleich waren und damit auch deutlich größer als beim weißen Rauschen.

Die Berechnungen des Beurteilungspegels für den präventiven Schutz des Menschen werden lediglich nach der Energie-Äquivalenz und der 3-dB-Regel beurteilt, was nach den Ergebnissen dieser Studie eine methodische Schwierigkeit darstellt. Denn so werden gleiche Beurteilungswerte ausgewiesen für 3 verschiedene Lärmbelastungen, die sich um den Faktor 4 unterscheiden (Strasser, Irle, Scholz).

In einer Studie von Lindgren und Axelsson im Jahr 1983 wurden zehn freiwillige Probanden (9 Männer und 1 Frau im Alter von durchschnittlich 16,2 Jahren) 10 Minuten bei 5 Anlässen einer aufgenommenen Popmusik exponiert. Bei fünf anderen Anlässen wurden die gleichen Probanden einem Lärm mit charakteristischen Level-, Frequenz- und Zeitmerkmalen ausgesetzt.

Das Ziel der Studie war, eine Beziehung zwischen dem Grad der TTS und der subjektiven Erfahrung eines Schalllärms aufzuzeigen. Dadurch sollten mögliche individuelle Unterschiede in der TTS nach wiederholter kontrollierter Exposition gegenüber Lärm und Musik, die beide mit gleicher Zeit-, Frequenz- und Lautstärkemerkmale ausgestrahlt wurden, erkannt werden.

Die Analyse der TTS-Daten von 100 Sessions (10 Probanden je 5x Lärm und je 5x Musik) machten deutlich, dass die sensitivsten TTS-Frequenzen für Lärm von 4000 bis 6000 Hz reichen und für Musik von 4000-5000 Hz.

Individuelle Analysen zeigten einen merklichen Unterschied in der TTS zwischen den 2 Stimuli für 6 Probanden, wohingegen vier Probanden nur einen geringen Unterschied zeigten. Die Lärm-TTS zeigten eine ziemlich gleichmäßige Verteilung über verschiedene Sessions, wohingegen die Musik-TTS eine beachtliche Variation aufwiesen. Der Vergleich der beiden TTS bei jeder Session machte einen

weniger deutlichen Unterschied je mehr Expositionen durchgeführt wurden. Bei den ersten zwei Sessions waren die Unterschiede relativ gleich groß, aber verringerten sich bei den Sessions 3 und 4, offenbar hervorgerufen durch eine ansteigende Musik-TTS von Session zu Session. Überraschenderweise nahmen diese Unterschiede zwischen den TTS bei der 5. Session noch weiter zu. Jeder Proband bekam seine eigene Kontrolle, was sich als sehr wichtig herausstellte.

Einen Einfluss der Mittelohrmuskelreflexe können fast vollständig ausgeschlossen werden, da die beiden Stimuli in den unteren Frequenzen lagen, in denen der Reflex kaum ausgelöst wird. Es scheint möglich, dass die Unterschiede in der TTS durch physiologische Faktoren wie der subjektiven Erfahrung des Lärms gegen die der Musik ausgelöst wurden. Hohe Schallpegel, die als unangenehm und unnötig empfunden werden verursachen demnach einen größeren Hörverlust als solche mit positiven Emotionen (Lindgren und Axelsson, 1983).

### **3.10 Vergleich Rockmusik/Klassische Musik**

Bei einer Untersuchung von Bohne 1976 wurden sechs Chinchillas in einer Diskothek 2,5 Stunden mit Live-Rockmusik beschallt. Sie saßen in einem Käfig, 1 Meter vor dem größten Lautsprecher. Der Käfig wurde alle 15 min gedreht, sodass alle Tiere dem gleichen Lärm ausgesetzt waren.

In 15-minütigen Abständen wurden die Schallpegel gemessen. Vier der Cochleae der Chinchillas wurden zwischen 1 und 3,5 Stunden nach Exposition präpariert, bei den anderen beiden Tieren wurde erst nach einem Monat Ruhepause die Cochlea entfernt. Die Länge des Cortischen Organs wurde gemessen und die fehlenden und beschädigten Zellen wurden gezählt.

Die Chinchillas waren einem Schallpegel von durchschnittlich 107 dB(A) ausgesetzt, der häufiger für kurze Zeit um 10 dB überschritten wurde. An der von den Lautsprechern am weitesten entfernten Stelle wurden 93 dB(A) gemessen.

Die Livemusik wurde nicht kontinuierlich gespielt, sondern es gab zwischen den Songs Pausen von im Durchschnitt 12 Sekunden. Zwei Bands spielten und wenn diese sich abwechselten (2x), entstand eine Pause zwischen 13 und 23 min, während der ein Schallpegel von 83 dB(A) bestand.

Bei der anschließenden Präparation der Cochleae der Chinchillas wurden einige geschädigte Sinneszellen gefunden, zum Teil angeschwollen, vergrößert und mit wenig Chromatin.

Dies entspricht einem Bild einer irreversiblen Schädigung. Bei drei Tieren wurde ein Verlust von weniger als 30 äußeren Haarzellen gefunden, bei dem vierten Tier waren die Schäden erheblich ausgeprägter. Der Ort der größten Schädigung befand sich in der oberen 2. Windung (37 % der Distanz von der Spitze der Cochlea). Die Nervenfasern waren reduziert, aber die Stria vascularis zeigte sich normal. Bei den Tieren, die erst nach einem Monat getötet wurden, fand sich ein vermehrter Verlust von Zellen im Vergleich zu nicht-beschallten Tieren, aber er zeigte keine Signifikanz und verursachte auch keine funktionellen Einschränkungen. Die Schäden, die an den Sinneszellen

gefunden wurden, entsprachen der Region, die beschallt worden war. Es zeigte sich eine Variabilität der Schäden unter den einzelnen Tieren (Bohne, 1976).

In einer Studie von Dey 1970 ging es um die Frage, ob das akustische Trauma durch typische Rockmusik ausgelöst werden könne und wenn ja, welcher Prozentsatz junger normalhörender Ohren dadurch geschädigt werden könne.

In einer Diskothek wurden Schallpegelmessungen durchgeführt, die 110 dB in einem Abstand von 30 Fuß vor einem Lautsprecher ergaben. Im Labor wurde dann daraus ein Tape konstruiert, das zwei Minuten lang diese Rockmusik spielte.

Fünfzehn Männer zwischen 18 und 25 Jahren wurden diesem Tape über Kopfhörer ausgesetzt. Sechs Männer waren der Musik über vier Tage für fünf und dreißig Minuten bei 100 dB bzw. 110 dB exponiert. Neun Männer hörten die Musik nur einmal 30 Minuten bei 100 dB, um individuelle Unterschiede analysieren zu können. Vor der Exposition wurde ein Audiogramm zwischen 1000 und 8000 Hz erstellt. Zwei Minuten nach Ende der Exposition wurde erneut ein Audiogramm durchgeführt (TTS<sub>2</sub>).

In dieser Studie betrug der Anstieg 1,5 dB TTS<sub>2</sub> pro dB SPL für alle Frequenzen. Bei den vorgegebenen Schallpegeln betrug der Anstieg der TTS<sub>2</sub> für 100 dB 8,2 dB und für 110 dB 11,7 dB.

Aufgrund dieser Daten ließen sich die Ermüdungserscheinungen des Gehörs bei einem Level von 120 dB über 2 Stunden vorhersagen, ohne dass sie getestet wurden: TTS<sub>2</sub> von 44,9, 49,9, 47, 43,8, 40 und 35 dB bei 1000-8000 Hz.

Es sollte erwähnt werden, dass zwei Stunden bei 110 dB ein ungewöhnlich schweres TTS<sub>2</sub> bei 16 % der jungen Männer verursachten, während wenn man 98 von 100 schützen wollte, man ein Level von um die 100 dB ansetzen müsste (Dey, 1970).

Das Ziel einer Studie von Lipscomp 1969 war, an einem Meerschweinchen den cochleären Schaden histologisch zu untersuchen, der entsteht, wenn ein Meerschweinchen lauter Rock'n'Roll Musik ausgeliefert ist.

Dazu wurde ein Meerschweinchen 88 Stunden einem Schallpegel von 122 dB SPL ausgesetzt. Ein Ohr des Tieres wurde während der ersten 65 Stunden mit einem Gehörstöpsel abgedichtet. Danach wurde die Cytoarchitektur des Cortischen Organs des Tieres untersucht.

Der Schaden an der Cochlea war deutlich. Einige innere Haarzellen zeigten kein gesundes Erscheinen mehr. Viele äußere Haarzellen waren kollabiert oder verschwunden. Es zeigten sich 7 Regionen, die besonders betroffen waren. Die Kraft der Basilarmembran-Bewegung als Antwort auf den experimentellen Stimulus war so gewaltig, dass ein Teil des Cortischen Organs displaziert worden war. 20 % der äußeren Haarzellen erlitten durch die Exposition der Musik einen ernsteren Schaden. Den größten Schaden sah man an der ersten Reihe der äußeren Haarzellen, gefolgt von der dritten Reihe und dann erst der Zweiten. Etwas unter 10 % der inneren Haarzellen waren beschädigt worden. Insgesamt waren 25 % aller Zellen verschwunden.

Generell muss bei dieser Studie darauf hingewiesen werden, dass der Befund, der beim Meerschweinchen gefunden wurde, nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragbar ist. Aber diese Untersuchung gibt Hinweise darauf, dass die Rock 'n' Roll Musik, die in Diskotheken gespielt wird, für das Gehör gesundheitsschädlich ist und einen Zellschaden in der Cochlea verursacht.

Normale audiometrische Untersuchungen, um einen derartigen Hörschaden herauszufinden, scheinen laut der Studie unzulänglich zu sein (Lipscomp, 1969).

Bei einer Studie von Fearn 1975 geht es um den Vergleich zwischen einem äquivalenten A-gewichteten Dauerschallpegel ( $L_{eq}$ ) und den Durchschnitts-dB(A)-Messungen, die bei Popmusik-Konzerten gemessen wurden.

Ein äquivalenter Dauerschallpegel  $L_{eq}$  ist in der Regel 1 oder 2 dB höher als Pegel, die in dB(A) gemessen werden.

*Wie verändert sich der Schallpegel während eines Konzertes?*

Der  $L_{eq}$  variiert während einer Aufführung ein wenig. Der Schallpegel wird während eines Konzertes mit der größer werdenden Zuschauermenge und deren Lärm auch größer. Vor allem nach einer Pause, nach der dann eine andere Band auftritt oder eine andere Art von Musik gespielt wird, ist der Schallpegel lauter.

Die Differenz des leisesten und des lautesten Levels sind in der Disko 15 dB und bei einer Live-Gruppe 22 dB. Die Gruppe hat demnach eine weitere dynamische Spange und spielt immer auf einem höheren Soundlevel.

*Wie konstant ist der Level einer Band von Auftritt zu Auftritt?*

Er bleibt auf einem gleich hohen Niveau, bei dem die Musiker höheren Schallpegeln ausgesetzt sind als das Auditorium.

Insgesamt scheinen die Soundlevels geringer zu sein als bei Untersuchungen vor 5 Jahren. Und auch die Lautsprecher stehen weiter vom Publikum entfernt. Außerdem gibt es Lautstärkebegrenzungen, die nicht überschritten werden dürfen.

*Ist nicht auch Orchestermusik gefährlich für das Gehör?*

Ist es nicht, weil der  $L_{eq}$  gewöhnlich unter 90 dB(A) liegt (Fearn, 1975).

Kuhl entdeckte 1976 keine Gehörschädigung durch Tanzmusik, symphonische Musik und Maschinengeräusche beim Rundfunk.

Eine Pegel-Zeit-Analyse des Schallpegels in einem Tanzmusik-Regieraum mit sehr hohem Wiedergabepiegel zeigte, dass ein auf eine achtstündige Arbeitszeit bezogener äquivalenter Schallpegel von 82 dB(A) erreicht wird. Damit lassen sich Hörschäden sicher ausschließen. Darin noch nicht berücksichtigt sind die „Lärmpausen“ zwischen den Stücken, in denen sich das Gehör erholen kann.

Gemessen wurden die Schallpegel oberhalb des Kopfes des Toningenieurs während sechs Stunden seines Arbeitstages an zwölf Tagen. Unbewertete Momentanpegel bis zu 95 dB oder 100 dB kamen langfristig vor, höhere Pegel nur kurzzeitig (Kuhn, 1976).

### 3.11 Gehörschutz

Die Schalldruckpegelreduktion durch das Tragen eines individuellen Gehörschutzes auch bei Orchestermusikern ist gut belegt (Wegner et al., 2000; [www.suva.ch/akustik](http://www.suva.ch/akustik)), jedoch scheint die Akzeptanz bei Musikern bisher sehr gering zu sein (Pree-Candido & Körpert, 1999; Wegner et al., 2000; Laitinen, 2005).

Laitinen konnte für finnische Orchester zeigen, dass lediglich 6 % der Musiker ständig Gehörschutzmittel verwenden (Laitinen, 2005). Gehörschutz wurde eher benutzt, wenn das Gehör betreffende Symptome bereits vorlagen. Auch dem Lautstärkeempfinden der Musiker misst Laitinen eine große Bedeutung bei, kausale Verknüpfungen zu Hörbeschwerden und der Verwendung von Gehörschutzmitteln bleiben aber ungeklärt. In Laitinens Studie bleibt außerdem offen, welche Arten von Gehörschutzmitteln verwendet werden und wie die Musiker die zur Verfügung stehenden Typen bewerten.

Da die Gefährdungslage des Hörvermögens von Musikern angesichts der widersprüchlichen Studienlage noch immer nicht genau zu bestimmen ist und die EG-Direktive ihre Mitgliedsstaaten zur Einhaltung der Expositionsgrenzwerte am Arbeitsplatz verpflichtet, kommt der Verwendung individueller Gehörschutzmöglichkeiten besondere Bedeutung zu. Neben häufig z.T. schwierig umsetzbaren baulichen Veränderungen könnte durch die regelmäßige Verwendung individuellen Gehörschutzes die lärminduzierte Gehörgefährdung von Musikern minimiert werden.

Die neue Verordnung bezieht sich ausdrücklich auch auf Beschäftigte des Musik- und Unterhaltungssektors und fordert u.a. die Einhaltung eines Expositionsgrenzwertes unter Berücksichtigung der dämmenden Wirkung eines Gehörschutzes.

Wenig erforscht sind bisher Faktoren, welche zur Gehörprotektion beitragen können. Wichtig erscheint hierbei die eigene emotionale Einstellung zu den aufgeführten Musikstücken: Bei Musikern, welche die Musik, die sie aufführen, mit einer positiven affektiven Kopplung versehen können, scheint bei gleicher Belastung das Ausmaß von Gehörschäden geringer zu sein (Lindgren und Axelsson, 1983; Swanson et al., 1987). Ein mögliches anatomisches Korrelat für die Fähigkeiten der Musiker, ihr Gehör mehr als Nichtmusiker schützen zu können, ist möglicherweise in der unterschiedlichen Ausprägung efferenter nervaler Suppressionsmechanismen, die sich auf die Funktion der äußeren Haarzellen moderierend auswirken, zu suchen (Brashers et al., 2003). Auch gibt es in der Literatur Beschreibungen von bisher physiologisch nicht geklärten Geschlechtsunterschieden in der Hörfähigkeit und -einschränkung von Orchestermusikern. Weibliche Instrumentalisten hörten hier besser und hatten weniger Hörschäden als männliche (Axelsson und Lindgren, 1991; Schäcke et al., 1987; Royster et al., 1991; Pree-Candido und Körpert, 1999; Kähari et al., 2001 a, b).



### 3.11.1 Präventionsprogramme

Daniell versuchte 2006 herauszufinden, wie gut die Prävention in der Industrie vorangetrieben wird, in der relativ hohe Raten an Entschädigungsforderungen für einen berufsbedingten Hörverlust beklagt werden.

Vor 20 Jahren waren Präventionsprogramme in den USA von der OSHA (Occupational Safety and Health Administration) auf den Weg gebracht worden, ihre Effektivität und Durchführung wurde nun überprüft. Schadensersatzklagen von Arbeitern, die im Staate Washington tätig waren, wurden in bis zu 10 Fabriken in jeder der acht Industriezweige identifiziert. In jeder Fabrik (n=76) wurden Management-Interviews, Dosimetermessungen an den Arbeitsplätzen (n=983) und Beschäftigten-Interviews (n=1557) durchgeführt. Mindestens in 80 % der Fabriken war über zehn Jahre der gleiche Besitzer. 78 % der Fabriken waren von Washington State OSHA inspiziert worden, aber nur 9 % erhielten jemals eine Auswertung ihrer Lärmexposition. Die meisten interviewten Arbeiter waren Männer (> 79 %), außer in der Obst- und Gemüseverarbeitung, wo es nur 50 % Männer gab. 34 % der Arbeiter waren 35 Jahre alt oder jünger, ebenfalls 34 % waren zwischen 36 und 45 Jahre alt und 32 % waren älter als 45 Jahre. 71 % der Arbeiter waren schon länger als 2 Jahre in ihrem Betrieb beschäftigt 17 % länger als 1 Jahr.

Exzessiven Lärm gab es in allen Industriezweigen. Die durchschnittliche Arbeitszeit lag bei 8,4 h. 74 % der Arbeiter waren einem äquivalenten Dauerschallpegel von  $\geq 85$  dB(A) ausgesetzt und 42 % einem äquivalenten Dauerschallpegel von  $\geq 90$  dB(A).

Die meisten Fabriken führten einmal im Jahr eine audiometrische Untersuchung bei ihren Arbeitern durch. Im Allgemeinen stimmten die Aussagen der Arbeiter mit denen der Manager überein.

Unter den Arbeitern, die mindestens schon 1 Jahr in den 46 Fabriken mit jährlichem Prophylaxe- und Trainingsprogramm arbeiteten, gaben 60 % an, sich an ein Training erinnern zu können. 62 % der Arbeiter gaben an, immer Gehörschutz während Lärmexposition zu tragen, 25 % verwendeten ihn manchmal. Den höchsten Anteil machten dabei die Industrien mit der höchsten Lärmbelastung aus, in den anderen Industriezweigen waren es nur 40-60 % der Arbeiter, die immer einen Gehörschutz bei der Arbeit trugen.

Unabhängig vom Lärmpegel war die Bereitschaft, einen Gehörschutz zu tragen in den Betrieben höher, in denen auch vollständigere Präventionsprogramme abliefen.

In mindestens einer Region der Vereinigten Staaten wurde bei kleinen und mittleren Unternehmen den Lärmkontrollen, die die Lärmexposition der Arbeiter verringern soll, nur wenig oder sogar gar keine Beachtung geschenkt.

20 Jahre nach den OSHA-Bestimmungen sind die Präventionsprogramme unvollständig und die Verwendung des Gehörschutzes oft unzulänglich. Der Gebrauch von Gehörschutz war in Betrieben am höchsten, deren Präventionsprogramme vollständig umgesetzt wurden und in denen die höchsten Lärmpegel gemessen wurden.

Die Bestimmungen und Vorschläge der OSHA zum persönlichen Gehörschutz und zu Präventionsprogrammen muss neu bewertet werden. In den Betrieben muss mehr darauf geachtet werden, dass der persönliche Gehörschutz auch verwendet wird. Arbeiter mit einem hohen Risiko, einen berufsbedingten Hörverlust zu erleiden, sollten in Betrieben angestellt sein, in denen weniger Lärm herrscht.

Die Studie weist einen Fehler auf, da die Teilnahme auf Freiwilligkeit beruhte. Dadurch haben sich wahrscheinlich eher Firmen und Betriebe gemeldet, die ein annähernd komplettes Präventionsprogramm aufweisen können.

Es ist nicht möglich zu beantworten, wie hoch die Unvollständigkeit der Programme sein muss, damit sie ineffektiv werden oder falsch laufen (Daniell et al., 2006).

### **3.11.2 Lärmvorsorgeuntersuchungen**

Jährlich werden etwa 1000 rentenpflichtige Lärmschwerhörigkeiten (Berufskrankheit 2301) gemeldet. Der Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften veröffentlicht Grundsätze (Grundsatz G 20 = Lärmvorsorgeuntersuchung), um gezielte arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen in einheitlicher Form zu gewährleisten. Gehörvorsorgeuntersuchungen sind dann erforderlich, wenn der Beurteilungspegel am Arbeitsplatz 85 dB(A) und mehr beträgt. Erst ab 90 dB(A) ortsbezogenen Beurteilungspegel, oder ab 140 dB nichtbewerteter Schalldruckpegel, sind individuelle Gehörschützer obligat zu tragen. Bei den Gehörvorsorgeuntersuchungen sind Erst- und Nachuntersuchungen voneinander zu unterscheiden. Die Erstuntersuchungen sollen vor Aufnahme der Tätigkeit stattfinden, die erste Nachuntersuchung nach 1 Jahr. Grundsätzlich stehen drei mögliche Untersuchungsarten zur Verfügung, der Siebtest-Lärm I, die Ergänzungsuntersuchung-Lärm II und die erweiterte Ergänzungsuntersuchung-Lärm III.

Der Siebtest-Lärm I besteht aus einer Anamnese, der Inspektion des Außenohres, der Tonschwellenaudiometrie in den Frequenzen 1-6 kHz in den Luftleitungswerten und einer allgemeinen Beratung zum Gehörschutz.

Die Ergänzungsuntersuchung-Lärm II wird durchgeführt, wenn der Siebtest auffällig war. Sie beinhaltet eine otoskopische Untersuchung und eine Audiometrie mit Luft- und Knochenleitung in den Frequenzen 0,5-8 kHz. Eventuell ist noch ein SISI-Test durchzuführen.

Die Ergänzungsuntersuchung-Lärm III wird durchgeführt, wenn der Knochenleitungshörverlust auf beiden Ohren bei 2 kHz 40 dB HL erreicht oder überschritten hat. Zusätzlich wird hier noch eine Sprachaudiometrie bei Sprachschallpegeln von 50 bis 95 dB durchgeführt; außerdem eine Impedanzaudiometrie (Tympanometrie und kontralaterale Stapediusreflexschwelle in mind. 4 Frequenzen).

Der Verdacht auf das Vorliegen einer beruflich bedingten Lärmschwerhörigkeit ist dann gegeben, wenn der Versicherte im Lärm gemäß der Definition aus der Unfallverhütungsvorschrift tätig war oder ist und das audiometrische Bild einer cochleären Hörminderung entspricht. Im versicherungsrechtlichen Sinne erheblich ist ein Hörverlust von mehr als 40 dB HL im Tonschwellenaudiogramm auf dem besser hörenden Ohr bei 2 kHz (Laszig, 1992).

### 3.11.3 Persönlicher Gehörschutz

Das Problem des Gehörschutzes ist, dass zum einen der Musiker einen Okklusionseffekt verspürt und er zum anderen einen relativen Hörverlust in den hohen Frequenzen hat.

Es lassen sich derzeit folgende Typen von individuellem Gehörschutz beschreiben (Richter et al., 2004):

1. Individuell an den Gehörgang angepasste Gehörschutzstöpsel, die mit einem linearen Filter ausgestattet sind. Durch ihre dämmende (schützende) Wirkung, ihren Frequenzgang und ihre Passform sind sie am ehesten für Musiker geeignet (s. Abb. Typ 1).
2. Vorgefertigte Schallschutzstöpsel, die mit einem Filter ausgestattet sind, der die hohen und tiefen Frequenzen möglichst gleichmäßig (linear) dämpft (s. Abb. Typ 2).
3. Industriell hergestellte Schaumstoffstöpsel, die zwar den Gehörgang gut abdichten, aber den Klang verzerren, da sie einen nicht linearen Frequenzgang aufweisen und vor allem die hohen Frequenzen dämpfen (s. Abb. Typ 3).
4. Selbst gebaute Stöpsel, die z.B. aus Watte oder Papier bestehen. Sie dichten den Gehörgang nicht sicher ab und führen zusätzlich zu einer Klangverzerrung, indem die hohen Frequenzen stärker gedämpft werden als die tieferen (s. Abb. Typ 4).

Typ 1:

Individuell angepasste Gehörschutzmittel (Otoplasten)

(z.B. „Elacin ER-9“, „ER-15“, „Irenum“)



*Elacin 9*: Schalldämpfung von 9 dB, luftdurchlässig; Anwendung bei tontechnischen Arbeiten, am Arbeitsplatz

*Elacin 15*: Schalldämpfung von 15 dB, mit eingebautem akustischem Verstärker, die hohen Frequenzen werden hervorgehoben; Anwendung in lauter Kneipe, Disco oder am lauten Arbeitsplatz

*Elacin 25*: Schalldämpfung von 25 dB, um für jeden Musiker den richtigen Gehörschutz zu finden, sollte er einen tieffrequenten, mittelfrequenten und hochfrequenten Ton anspielen und diesen aushalten, und dies im piano, mezzoforte und forte; Anwendung in Disco, bei Events, an sehr lauten Arbeitsplätzen

Die Holzbläser mit Rohransatz können Lautstärken bis 100 dB erzeugen, sie verwenden am besten den Elacin 15.

Die Flöten erreichen Lautstärken bis 105 dB, sie sollten auch den Elacin 15 verwenden und zwar mit einem langen Ohrkanal, um den Okklusionseffekt zu vermindern.

Kleine Streicher, also Geigen und Bratschen, erreichen 110 dB mit Peaks von 126 dB, sie sollten Elacin 15 mit einem kurzen Kanal nehmen, da sie Okklusion besser tolerieren können.

Große Streicher, Kontrabass, Cello und Harfe spielen Lautstärken bis 90 dB.

Rockmusiker sollten auch Elacin 15 verwenden und die Verstärker weiter weg von ihnen aufstellen.

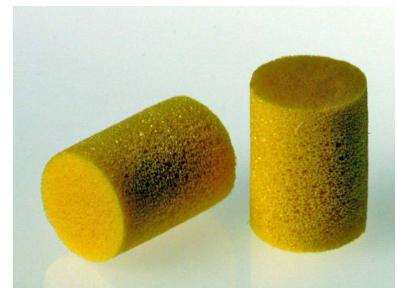
Typ 2:

Vorgeformte Gehörschutzstöpsel mit Filter für Musik  
(z.B. „Ultratech“, „Musicsafe“, „Earsafe“)



Typ 3:

Industrielle Gehörschutzstöpsel entweder vorgeformt aus Plastik oder aus Dehnschaumstoff  
(z.B. „Ultrafit“, „3M“, „EAR Classic“ oder Ohropax)



Typ 4:

Improvisierte Gehörschutzmittel (Notlösungen):  
Watte, Zigarettenfilter, Papiertaschentücher, usw.



So können die Musiker sicher sein, dass ihr Gehör bestens geschützt ist und sie auch noch in 30-40 Jahren Freude an der Musik haben können (Chasin und Chong, 1991).

Die Existenz von Produkten und Teststandards ist eine Voraussetzung für die effektive Durchführung der Richtlinien.

Dazu mussten einige Standards in einer kurzen Zeit entwickelt werden und die Basisstandards für den Gehörschutz sind bereits überarbeitet worden.

Es ist wichtig, die Validierung der standardisierten Testmethoden und die Levelerfordernisse weiter zu entwickeln. Ebenso muss daran geforscht werden, neue Produkte auf den Markt zu bringen.

Die Exposition der Arbeiter im Lärm kann von technischem und organisatorischem Personal überwacht werden, reicht dies aber nicht aus, ist der Arbeiter mit persönlichem Gehörschutzequipment auszurüsten, um die tägliche Lärmdosis zu verringern.

Neben der Schutzeffizienz sind auch die Benutzerfreundlichkeit und der Komfort wichtig.

Es sollten außerdem Materialien verwendet werden, die die Haut nicht reizen und keine Allergien verursachen. Am besten eignen sich bequeme Oberflächen ohne scharfe Kanten oder andere nachteilige Eigenschaften. Alle Produkte in Europa müssen CE-zertifiziert sein. Die Übereinstimmungsbewertung wird von kompetenten Laboratorien geleistet. Alle fünf Jahre wird ein neuer Validierungsbericht herausgegeben, vor allem für die neu entwickelten elektronischen Hörschützer.

In Zukunft soll ein internationaler Standard entwickelt werden (Korhonen, 2005).

Individueller Gehörschutz ist die beste Möglichkeit, sich vor Lärm zu schützen. Aber häufig wird Gehörschutz ohne jegliche Anweisung oder Anleitung verwendet. Williams verglich daher in einer Untersuchung den Effekt von Gehörschutz mit und ohne Anweisungen. Als Anweisung durfte keine 1:1-Instruktion erfolgen, sondern es durfte nur ein Text und ein Schaubild zu Hilfe genommen werden, die rückseitig auf der Verpackung des Gehörschutzes abgebildet waren. Die erste Testgruppe umfasste 15 Probanden, die keinerlei Anleitung zum Gehörschutz erhielten. Die zweite Testgruppe enthielt sechzehn Probanden, die die Anleitung lesen durften.

Die Dämpfungen, die durch den Gehörschutz erzeugt wurden, ergaben bei der Gruppe mit Anleitung Werte um 24 dB, bei der ohne nur um 8 dB, was ein signifikantes Ergebnis darstellt.

Wenn Gehörschutz verwendet wird, sollte der Gebrauch dessen durch eine simple Anleitung erläutert und somit weit effektiver gestaltet werden (Williams, 2004).

#### **3.11.4 Baumaßnahmen**

Musiker im Orchestergraben haben immer wieder Probleme des gegenseitigen Hörens und damit des Zusammenspiels, wenn nicht genügend reflektierende Flächen in ihrer Nähe angeordnet sind.

In tiefen und teilweise überdachten Orchestergräben kommt es regelmäßig zu zu starker Reflexion von den Begrenzungsflächen. Das Schallfeld ist wie in stehenden Wellen vor reflektierenden Wänden ausgesprochen inhomogen mit Pegeldifferenzen über 20 (bis 40) dB. Daraus resultiert eine massive

Verfärbung des Klangbildes, je nachdem, wo Schallerzeuger und -empfänger zufällig sitzen oder stehen.

Wenn der Graben bei einigen tiefen Eigenfrequenzen „dröhnt“, haben die Musiker teilweise sogar Schwierigkeiten, ihr eigenes Instrument richtig und deutlich zu hören.

Nicht nur bei Forte-Stellen im Orchestergraben spielen einzelne Musiker, besonders wenn sie wegen langjähriger Belastungen bereits gehörgeschädigt sind, lauter, als eigentlich angebracht wäre. Dadurch verleiten sie auch andere, lauter zu spielen. Dies führt zu einer frühzeitigen Ermüdung und zur Unzufriedenheit am Arbeitsplatz.

Ein weiteres Problem stellt das Zusammenspiel mit Sängern dar, die von den Musikern nicht ausreichend gehört werden.

Gegen derlei Probleme gibt es einige konventionelle raumakustische Maßnahmen. Bei Neubauten kann versucht werden, den Orchestergraben nicht zu klein (mehr als die üblichen 1-1,25 m<sup>2</sup>/Musiker), möglichst flach und wenig überdacht zu bauen.

Im Staatstheater Stuttgart wurden faserfreie Schallabsorber mit geringster Bautiefe in Vorder- und Rückwand des Grabens eingebaut. Zum einen sind dies Membran-Absorber für die Frequenzen zwischen 63 und 160 Hz und zum anderen sind es Weichschaum-Elemente für die Frequenzen zwischen 160 und 4000 Hz. Zur Überprüfung der Verbesserung der akustischen Situation im Orchestergraben wurden Nachhallzeitmessungen durchgeführt. Dabei wurde als anregendes Signal ein breitbandiges Rauschen verwendet, die Abklingkurven wurden je dreimal gemittelt. Alle Messungen wurden mit „Eisernem Vorhang“ durchgeführt. Die Nachhallzeit hatte sich für die Zuschauer im Rahmen der Messgenauigkeit wie erwartet nicht wesentlich verändert.

Im Orchestergraben zeigte sich eine deutliche Verbesserung. Der Orchestergraben und der Zuschauerraum ließen sich nun als zwei gekoppelte Räume mit unterschiedlich stark absorbierenden Wänden betrachten. Hier trat das Phänomen einer frühen und einer späten Nachhallzeit auf. Da der frühe Nachhall einen Abfall von z.B. ca. 10 dB am Dirigentenplatz und ca. 15 dB an Musikerplätzen aufwies, erschien die Musik trockener. Dadurch ließ sich die Problematik der zu großen Halligkeit im Orchestergraben bekämpfen. Sind die Absorber bis zu sehr tiefen Frequenzen abgestimmt, kann vor allem kein störendes Dröhnen mehr auftreten. Zusätzlich wurde hinter dem Dirigenten eine große Fläche weiß gehalten, sodass die Musiker alle Bewegungen des Dirigenten gut sehen konnten.

Ein mögliches Kriterium zur Beurteilung der Qualität eines Raumes für Musikdarbietungen ist das Klarheitsmaß C. Bei den Untersuchungen im Staatstheater Stuttgart wurden nach den Umbaumaßnahmen bessere Werte sowohl im Zuschauerraum als auch im Orchestergraben gemessen. Außerdem konnte durch die Absorber die Lautstärke des Orchesters relativ zu den Sängern auf der Bühne reduziert werden.

Auch an anderen großen Häusern wie der Dresdner Staatsoper und dem Festspielhaus in Salzburg wurden bauliche Maßnahmen zur Akustikverbesserung vorgenommen. So wurden in Dresden für die Fagotte seitlich Vorhänge angebracht. In Salzburg wurden auswechselbare Wandelemente unterschiedlichen Schalldruckgrades angeordnet (Zha, 1997).

## 4. Diskussion

Wie gezeigt werden konnte, ist die Studienlage uneinheitlich und zum Teil widersprüchlich.

Alle Studien erreichen qualitativ nach den gültigen Regeln der evidenzbasierten Medizin maximal den als ungenügend zu beurteilenden Level IV, da keine prospektiven Studien vorliegen. Die meisten Studien sind vielmehr Einpunkterhebungen, die keine Aussagen über eine mögliche Progredienz der audiometrisch gefundenen Einschränkungen im zeitlichen Verlauf ermöglichen. Lediglich die Studie von Kähari et al. aus dem Jahre 2001 kann hier bedingt eine Aussage treffen, da ein Teil der untersuchten Musiker bereits 1981, also 16 Jahre zuvor, von Axelsson und Lindgren untersucht worden war. Hier fand sich bei den Musikern im Nachbeobachtungszeitraum von 16 Jahren keine signifikante Verschlechterung der Hörfähigkeit. Auch Karlsson und Mitarbeiter beschrieben innerhalb eines Beobachtungszeitraumes von sechs Jahren keine Progredienz der Hörverluste, die über einen nach Norm zu erwartenden altersbedingten Verlust hinausgingen (Karlsson et al., 1983).

Die erarbeiteten und im Anhang aufgelisteten Studien sind bezüglich Stichprobenauswahl und Untersuchungsmethodik heterogen. Bis auf wenige Ausnahmen sind alle Studien Querschnittsuntersuchungen. Um jedoch eine Dosis-Wirkungs-Beziehung nachzuweisen, ist es unablässig, eine Längsschnittuntersuchung durchzuführen. Der Forschungsstand zur Problematik der Hörstörungen bei Musikern durch die Ausübung ihres Berufes ist derzeit noch mangelhaft.

Oftmals wird keine Definition für einen Hörverlust gegeben, so dass die Interpretationsspanne deutlich steigt. Die Analyse der Audiogramme erfolgt nach unterschiedlichsten Kriterien, die oft nicht näher erläutert werden. Bei vielen Studien fehlen die angemessenen Probandenzahlen, um eine statistisch signifikante Aussage treffen zu können. Ebenso variieren die Angaben der Schallpegelmessungen. Es sollte immer in A-gewichteter Technik gemessen werden, es sollten Dauerschall- und Mittelungspegel angegeben werden.

Die audiometrischen Tests wurden oftmals nur in ruhigen Umgebungen statt in Hörprüfkabinen durchgeführt und auch nicht im ausreichenden Frequenzbereich von 0,25-8 kHz. Außerdem ist unbedingt darauf zu achten, dass die Hörtests nach einer Lärmpause von mindestens 48 Stunden erfolgen, um eine Verzerrung der Ergebnisse durch eine vorübergehende Hörschwellenverschiebung (TTS) auszuschließen.

Sehr hilfreich sind Abbildungen der Orchester-Sitzordnung, da so besser bestimmt werden kann, welchen Schallpegeln bestimmte Musiker oder Musikergruppen ausgesetzt sind. Auch dieses Qualitätskriterium wurde nur von wenigen Studien erfüllt.

Musiker, die durch andere Ursachen einen Hörverlust erlitten haben, müssen aus den Studien ausgeschlossen werden, da sie das Ergebnis der Studie falsch positiv beeinflussen.

Generell ist zu sagen, dass durch eine einmalige Audiometrie keine Aussage darüber getroffen werden kann, ob ein Faktor, und nur dieser eine, für einen Effekt verantwortlich ist. Dazu sind randomisierte Längsschnittstudien mit Kontrollgruppen erforderlich.

Wesentliche Bedeutung für die Entstehung eines lärminduzierten Hörverlustes hat die Intensität, die Frequenzverteilung, Impuls- und Tonhaltigkeit, die Art der Musik, deren Verstärkung und die Gestaltung der Räume, die wöchentliche Exposition der Musiker und die Anzahl ihrer Berufsjahre.

Die Effekte von Lärm und Alter können additiv sein und im fortgeschrittenen Alter eines Musikers zu erheblichen Problemen führen.

Auch zu den verschiedenen Gehörschutzmitteln sind bisher wenige Studien erbracht worden. Diese weisen eine Dämpfung und einen Schutz für das Ohr des Musikers nach, werden aber den speziellen Anforderungen der Musiker vor allem im Hinblick auf die Erhaltung der Klangqualität und im Zusammenspiel im Orchester weitgehend nicht gerecht und werden von den Musikern nur schlecht akzeptiert (Pree-Candido und Körpert, 1999, Wegner und Wendlandt, 2000).

In epidemiologischen Untersuchungen wurden bisher primär die Hörverluste von Musikern erfasst. Diese Studien liefern jedoch kein einheitliches Bild. Die Ergebnisse unterscheiden sich bezüglich der Beurteilung des Hörvermögens als auch der Einschätzung des Risikos einer Gehörschädigung. Diese Unterschiede lassen sich auf Unterschiede in der Methodik zurückführen. Die veröffentlichten Studien unterscheiden sich in den methodischen Parametern:

- Beurteilung einer Hörminderung (Ausmaß, Berücksichtigung von Presbyakusis, Wahl der Kontrollgruppe, Frequenzgang der Hörverlustkurven)
- Wahl der Probanden
- statistische Verfahren
- Durchführung der Audiometrien (Untersuchungszeitpunkt)

Insgesamt ergibt sich aus den bisherigen Studien, dass 46 % der Studien ein definitives Risiko, einen Hörverlust durch klassische Musik zu erleiden, für Orchestermusiker durch audiometrische Untersuchungen nachweisen. Nur 22 % können keinen Hörverlust bei Musikern feststellen.

27 % sehen durch vorgenommene Schallpegelmessungen ein potenzielles Risiko für Musiker durch klassische Musik, nur 5 % können anhand der Schallpegelmessungen kein Risiko feststellen.

Bei Rock- und Popmusik stellt sich die Tendenz noch deutlicher dar:

86 % der Studien belegen, dass Rock-/Popmusik gehörschädigend ist, nur 14 % widersprechen dieser Aussage.

Klassische Musik verursacht laut 17 Untersuchungen (Axelsson und Lindgren, 1981; Rabinowitz et al., 1982; Berghoff, 1968; Royster et al., 1991; Cudennec et al., 1990; Siroky et al., 1976; Frei, 1979/1981; Schäcke et al., 1987; Gryczynska und Czyzewski, 1977; Steurer et al., 1998; Jatho und Hellmann, 1972; Westmore und Eversden, 1981; Mc Bride et al., 1992; Woolford et al., 1984; Ostri et al., 1989; Zeleny et al., 1975) einen lärminduzierten Hörschaden bei Musikern, der durch audiometrische Messungen belegt ist.



Klassische Musik verursacht in 10 Studien (Arnold und Miskolsky-Fodor, 1960; Eaton und Gillis, 2002; Flach und Aschoff, 1966; Flach, 1972; Fleischer und Müller, 2005; Johnson et al., 1986; Kähari et al., 2001; Karlsson et al., 1983; Obeling und Poulsen, 1999; Schmidt et al., 1994) keinen Hörschaden, der audiometrisch ausgeschlossen werden konnte.

Klassische Musik kann in 10 Studien (Behar et al., 2004; Jansson und Karlsson, 1983; Dupasquier, 2005; Kwiatkowski et al., 1986; Early und Horstmann, 1996; Laitinen et al., 2003; Folprechtova und Miksovská, 1981; Rosanowski und Eysholdt, 1996; Hohmann et al., 2003; Sabesky und Korczynski, 1995) einen Hörschaden bei Musikern verursachen, der allerdings nicht durch ein Audiogramm bestätigt werden konnte.

In drei Studien (Behar et al., 2005; Kuhl, 1976; Rintelmann und Borus, 1968) verursachte klassische Musik bzw. Popmusik wahrscheinlich keinen Hörschaden. Bei diesen Untersuchungen wurden allerdings ebenfalls keine Audiogramme erstellt.

Rock- bzw. Popmusik verursacht in den folgenden 14 Studien (Axelsson und Lindgren, 1977, 1978, 1981; Jerger et al., 1970; Bray et al., 2004; Kähari et al., 2003; Redell und Lebo, 1972; Chüden und Strauss, 1974; Schmuziger et al., 2006; Dey et al., 1970; Speaks et al., 1970; Drake-Lee et al., 1992; Yassi et al., 1993) einen Hörschaden, der auch durch audiometrische Messungen belegt wurde.

Rock- bzw. Popmusik verursacht in zwei Studien (Fearn, 1975; Lebo und Oliphant, 1968) wahrscheinlich einen Hörschaden, der nicht durch Audiogramme bestätigt wurde.

Bei ungefähr der Hälfte der Musiker wurden Hochtosenken von mindestens 20 dB festgestellt (Axelsson und Lindgren, 1981; Ostri et al., 1989; Royster et al., 1991). Dennoch zeigen Betrachtungen häufig, dass die Hörleistungen bei Musikern nicht signifikant schlechter sind als bei nicht belasteten Personen (Johnson et al., 1985; Royster et al., 1991). Nur wenige Studien kommen zu einer gegensätzlichen Einschätzung, schließen aber berufsbedingte Hörschädigungen im Einzelfall nicht aus (Karlsson et al., 1983; Eaton, 1991).

Instrumentenspezifisch liefern einige Studien wiederum Anhaltspunkte für erhöhte Gehöreinbußen bei Schlagzeugern und Bläsern (Schäcke et al., 1987; Fearn, 1989; Karlsson et al., 1983). Bei den hohen Streichern (Violine, Viola) wurden asymmetrische Hörminderungen von 3-4 dB nachgewiesen (Royster et al., 1991; AUVA, 1999; Schäcke et al., 1987).

Bei Sängern waren trotz hoher Wochenexpositionspegel zwischen 94-104 dB keine Hörprobleme nachzuweisen. Grund dafür kann einerseits das bei der eigenen Stimme sehr schnelle Ansprechen des Stapedius-Reflexes sein. Andererseits mögen psychologische Effekte, welche die eigene Stimme als das am wenigsten belastende Instrument beurteilen, einer Gehörschädigung entgegenwirken (Dupasquier, 2000). Im Unterschied dazu berichteten bei Umfragen 41 % der Chormitglieder der

Finnischen National Oper über audiometrisch nachgewiesene Verschlechterungen ihres Gehörs (Laitinen, 2003).

Die langfristige Entwicklung einer Hörstörung bei Musikern ist erst unzureichend untersucht worden. Es werden dabei keine statistisch signifikanten systematischen Verschlechterungen des Hörvermögens festgestellt, die über eine altersbedingte Hörminderung hinausgehen (Axelsson, 1981; Karlsson, 1981).

Bei einigen Autoren wird die individuelle Lärmempfindlichkeit als entscheidender Faktor bei der Entstehung eines lärminduzierten Hörverlustes gesehen (Speaks et al., 1970; Jatho und Hellmann, 1972; Karlsson et al., 1983; Schäcke et al., 1987).

Ein größeres Risiko, einen Hörverlust durch klassische Musik zu erleiden, haben Musiker, die ein Blechblasinstrument oder Schlagzeug spielen, oder Musiker, die direkt vor diesen Instrumentengruppen im Orchester sitzen (Westmore und Eversden, 1981; Frei, 1979/1981; Kwiatkowski et al., 1986; Mc Bride, 1992; Funk et al., 1994). Musiker, die in ihrer Freizeit keinem Lärm ausgesetzt sind, entwickeln erst später eine Hörstörung (Royster, 1991).

Außerdem haben Musiker, die Kontrabass, Cello, Harfe oder Klavier spielen, das geringste Risiko, einen Hörverlust zu erleiden, da ihre Instrumente am leisesten sind (Royster, 1991 und Mc Bride, 1992).

## 5. Zusammenfassung

Die Arbeit gibt einen umfassenden Überblick über alle derzeit veröffentlichten Studien, die sich mit der Problematik der Hörprobleme der Musiker auseinandersetzen.

Die Studien wurden anhand ihrer Durchführung und ihrer Merkmale analysiert und bewertet. Die derzeitige Studienlage ist in ihren Ergebnissen sehr widersprüchlich. Die Studien geben meistens nur eine Momentaufnahme der Situation der Musiker wieder, ohne dass Auswirkungen beobachtet werden können und daraus zu ziehende Schlussfolgerungen möglich wären.

Idealerweise sollte eine Studie folgende Kriterien beinhalten:

1. *repräsentative Zahl an Probanden:*

Sie sollte eine ausreichende repräsentative Zahl an Probanden aufweisen, diese sollten eine ausführliche Anamnese und eine otologische Voruntersuchung erhalten. Probanden mit einer Ohrpathologie oder einem vorbestehenden Hörverlust, der nicht durch die Musik verursacht ist, müssen ausgeschlossen werden.

2. *Beurteilung der Risikofaktoren der Probanden:*

Risikofaktoren der Probanden müssen erfasst werden, hinsichtlich ihres Alters, Geschlechtes, Instrumentes, ihrer Sitzposition im Orchester, ihres Spiel-/Übeaufwandes (auch außerhalb des Orchesters) und ihrer Lärmexposition in ihrer Freizeit.

3. *Familien- und Medikamentenanamnese:*

Außerdem sollte eine Familien- und Medikamentenanamnese erfolgen, um evtl. genetisch veranlagte Dispositionen und ototoxisch wirkende Medikamente zu erfassen.

4. *Definition des Hörverlustes:*

Der Schallpegel, ab dem von einem Hörverlust gesprochen wird, muss in der Studie definiert sein.

5. *Zeitpunkt und Ort der Schallpegelmessungen:*

Schallpegelmessungen müssen an verschiedenen Orten und während verschiedener Werke durchgeführt werden.

6. *Audiometrie:*

Die audiometrischen Messungen müssen vor einer Lärmexposition in einer Hörprüfkabine von geschultem Personal durchgeführt werden und den Frequenzbereich von 0,25-8 kHz abdecken. Die Expositionszeit und der äquivalente Dauerschallpegel sollte für jeden Musiker berechnet werden.

7. *Art der Studie:*

Die Studie sollte eine Längsschnittstudie darstellen, um langfristige Effekte der Musik auf das Gehör des Musikers zu erfassen und eine aussagekräftige Dosis-Wirkungs-Beziehung zu erhalten.

## 6. Literaturverzeichnis

- Arnold, G.E. & Miskolczy-Fodor, F. (1960). Pure-tone thresholds of professional pianists. *Archives of Otolaryngology*, 71, 938-947
- Arnold, G.E. (1939). Beitrag zur Kenntnis der Lokalisation der beginnenden Cochlearisaffektion. *Monatsschrift Ohrenheilkunde*, 73, 606-673
- Axelsson, A. & Lindgren, F. (1981). Hearing in classical musicians. *Acta Otolaryngol*, Stockh, Suppl. 377, 3-74
- Axelsson, A. & Lindgren, F. (1978). Hearing in pop musicians. *Acta otolaryngol*, 85, 225-231
- Axelsson, A. & Lindgren, F. (1977). Factors increasing the risk for hearing loss in pop musicians. *Scand. Audiol.*, 6, 127-131
- Axelsson, A. & Lindgren, F. (1977). Does pop music cause hearing damage? *Audiology*, 16, 432-437
- Axelsson, A. & Lindgren, F. (1981). Pop music and hearing. *Ear and Hearing*, 2 (2), 64-69
- Axelsson, A. & Lindgren, F. (1982). Hearing in musicians. Surprisingly many have worse hearing than expected. *Läkartidningen*, 79(41), 3674-3680. Swedish.
- Axelsson, A. & Lindgren, F. (1978). Temporary threshold shift after exposure to pop music. *Scand. Audiol.*, 7(3), 127-135
- Axelsson, A., Eliasson, A. & Israelsson, B. (1995). Hearing in pop/rock musicians: a follow-up study. *Ear Hear*, Jun, 16(3), 245-253
- Beck, C. (1984). Pathologie der Innenohrschwerhörigkeiten. *Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, Suppl.I, 1-57
- Beck, C. & Michler, H. (1960). Feinstrukturelle und histochemische Veränderungen an den Strukturen der Cochlea beim Meerschweinchen nach dosierter Reintonbestrahlung. *Arch. Ohren-, Nasen- und Kehlkopfheilkunde*, 174, 496-567
- Beck, C. (1956). Reaktionen der Kerne der äußeren Haarzellen beim Meerschweinchen auf adäquate Reize. *Arch. Ohren-, Nasen- und Kehlkopf Heilkunde*, 170, 81
- Beck, C. (1957). Kernveränderungen der Haarzellen nach Beschallung. *Arch. Ohr-, Nas.- und Kehlk.-Heilkunde*, 167, 262
- Beck, C. & Beickert, P. (1958). Morphologische Veränderungen an der Schnecke des Meerschweinchens bei Sauerstoffmangel und Lärmbelastung. *Arch. Ohr-, Nas.- und Kehlk.-Heilk.*, 172, 238
- Behar, A., MacDonald, E., Lee, J., Cui, J., Kunov, H. & Wong, W. (2004). Noise exposure of music teachers. *J Occup Environ Hyg.*, Apr;1(4), 243-247
- Behar, A. (2006). Risk of Hearing Loss in Orchestra Musicians: Review of the literature. *Medical Problems of Performing Artists*, December 2006, 164-168
- Berghoff, F. (1968). Hörleistung und berufsbedingte Hörschädigung des Orchestermusikers mit einem Beitrag zur Pathophysiologie des lärmtraumatischen Hörschadens. Dissertation Universität Köln
- Boenninghaus, HG (1965). Problems in the expert testimony of the occupational disease noise-related hearing disorders and deafness. *Z Laryngol Rhinol Otol*, 44 (9), 578-82
- Boenninghaus, HG (1962). Expert testimony on "noise-related hearing disorder and noise deafness" according to the 6<sup>th</sup> decree on occupational disease. *Z Laryngol Rhinol Otol.*, 41, 293-300
- Bohne, B., Ward, P., Fernandez, C. (1976). Irreversible Inner Ear Damage from Rock Music. *ORL*, Vol. 82, 50-59
- Brashears, S., Morlet, T., Berlin, C. & Hood, L. (2003). Olivocochlear efferent suppression in classical musicians. *J Am Acad Audiol*, Aug;14(6), 314-324
- Bray, A., Szymanski, M. & Mills, R. (2004). Noise induced hearing loss in dance music disc jockeys and an examination of sound levels in nightclubs. *J Laryngol Otol.*, Feb;118(2), 123-128
- 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
- Chasin, M. & Chong, J. (1991). An in situ ear protection program for musicians. *Hearing instruments*, Vol. 42, Number 12, 26-28
- Chüden, H. & Strauss, P. (1974). Gibt es eine Lärmschwerhörigkeit bei Diskjockeys? *Monatsschr Ohrenheilkd Laryngorhinol.*, 108, 377-382

- Corso, J. (1980). Age Correction Factor in Noise-Induced Hearing Loss: A Quantitative Model. *Audiology*, 19, 221-232
- Corso, J. (1962). Age and Sex Differences in Pure-Tone Thresholds. *Archives of Otolaryngology*, Vol 77, 385-405
- Cudennec, Y., Fratta, A., Poncet, J., Rondet, P. & Buffe, P. (1990). Effects of loud music on the Garde Republicaine musicians. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac.*, 107(6), 393-400. French.
- Daniell, W., Swan, S., McDanie, M., Camp, J., Cohen, M. & Stebbins, J.G. (2006). Noise exposure and hearing loss prevention programmes after 20 years of regulations in the United States. *Occup Environ Med.*, May;63(5), 343-51. Epub 2006 Mar 21.
- Dey, F.I. (1970). Auditory Fatigue and Predicted Permanent Hearing Defects from Rock- and Roll Music. *New Engl. J.Med.*, 1970, 282, 467-470
- Dieroff, H. (1959). Über die Beziehung zwischen Ton und Geräusch in ihrer gehörschädigenden Wirkung. *Arch. Ohr.-Nas. und Kehlkopf-Heilkunde*, 174, 243
- Dieroff, H. (1959). Beziehung zwischen Hörermüdung und bleibendem Hörschaden nach Lärmeinwirkungen. *Arch. Ohr.-Nas. und Kehlkopf-Heilkunde*, 174, 408
- Dieroff, H. (1961). On the injurious effect on hearing of the beat impulse in industrial noise. *Arch Ohren Nasen Kehlkopfheilkd.*, 178, 503-5
- Dieroff, H. (1963). Zum Problem des sogenannten akustischen Unfalles. *HNO*, Oct, 11, 283-288
- Dieroff, H. (1964). Die Schalleitungsschwerhörigkeit als Lärmschutz. *Z. Laryng. Rhinol.*, 43, 690
- Dieroff, H. (1974). Impairment of hearing due to impulse noise. *Z Gesamte Hyg.*, 1974, Apr;20(4):215-8
- Dieroff, H. (1975). Der Einfluss der Einzelimpulse in der Entwicklung des akustischen Traumas in der Metall-Verarbeitenden Industrie. *Z Gesamte Hyg.*, Feb, 21(2), 108-111
- Drake-Lee, A. (1992). Beyond music: auditory temporary threshold shift in rock musicians after a heavy metal concert. *J R Soc Med.*,85(10), 617-619
- Dupasquier, S. (2005). "ORCHMUS" Der Arbeitsplatz des Orchestermusikers-Belastungen und Ressourcen. Universitäten Basel, Bern, Zürich
- Early, K. & Horstman, S. (1996). Noise exposure to musicians during practice. *Appl. Occup. Environ. Hyg.*,11, 1149-1153
- Eaton, S. & Gillis, H. (2002). Review of orchestra Musicians' hearing loss risks. *Canadian Acoustics*, 30 (2), 5-12
- Fearn, R. (1975). Level measurements of music. *J. Sound & Vibration*, 43, 588-591
- Feldmann, H.. Das Gutachten des Hals-Nasen-Ohren-Arzt. Thieme Verlag, Stuttgart
- Flach, M. (1972). Das Gehör des Musikers aus ohrenärztlicher Sicht, *Msch Ohr Hk*, 106(9), 424-432
- Flach, M. & Aschoff, E. (1966). Zur Frage berufsbedingter Schwerhörigkeit bei Musikern. *Z Laryngol*, 45, 595-605 = Flach, M. und Aschoff, E. (1967). The Risk of Occupational Deafness in Musicians. *Germ. Med. Mth.*, Vol. XII, 12(2), 49-54
- Flesch, J. (1925). Berufskrankheiten des Musikers.
- Fletcher, R. & Munson, W. in Lehnhardt, E. (1959). Der Einfluss der Binnenohrmuskeltätigkeit auf die Empfindlichkeitskurve des Ohres. *Arch. Ohr.-Nas.- u. Kehlk.-Heilk.*, 175, 383
- Fleischer, G. & Müller, R. (2005). On the relation between exposure to sound and auditory performance. In: *Proceedings of the SAE 2005, Noise and Vibration Conference*, Traverse City, MI
- Folprechtova, A. & Miksovská, O. (1981). The acoustic conditions in a theatre orchestra, *Prakov Lék* 33, 175-177. Czech.
- Frei, J. (1979). Die Gehörbelastung des Orchestermusikers in der Konzert- und Opernformation der Tonhalle Zürich. Zürich: Dissertation, Universität Zürich
- Frei, J. (1981). Gehörschäden durch laute Musik, *Orchester*, 29, 630-641
- Fry, H. (1986). Overuse syndrome in musicians: prevention and management. *Lancet*, Sep 27, 2(8509),728-731
- Fuhrmeister, M.-L., Wiesenhütter, E. (1973). *Metamusik. Psychosomatik der Ausübung zeitgenössischer Musik*. J.F. Lehmanns Verlag, München.
- Funk, D., Kessler, H. & Kurz, W. (1994). Lärmbelastung von Orchestermusikern, *Bühnentechnische Rundschau*, 3, 41-47
- Glorig, A. (1973). Clinical manifestations of ototoxicity and noise. *Adv Otorhinolaryngol*,20, 2-13
- Glorig, A., Ward, W. & Nixon, J. (1961). Damage Risk Criteria and Noise-Induced Hearing Loss. *Archives of Otolaryngology*, Vol. 74, Oct., 71-81

- Gryczynska, D. & Czyzewski, L. (1977). Damaging effect of music on the hearing organ in musicians. *Otolaryngol. Pol.*, 31 (5), 527-532. Polnisch.
- Habermann, J. (1890). Über die Schwerhörigkeit der Kesselschmiede. *Arch Ohrenheilk.*, 62, 30,1
- Hagberg, M., Thiringer, G., Brandstrom, L. (2005). Incidence of tinnitus, impaired hearing and musculoskeletal disorders among students enrolled in academic music education – a retrospective cohort study. *Int Arch Occup Environ Health.*, 78(7), 575-583
- Hohmann, B., Dupasquier, S. & Billeter, T. (2003). Fortissimo mit Folgen-Gehörgefährdung bei Orchestermusikern und Berufssängern. *Musik und Medizin-Zwei Künste im Dialog*. Zürich: Chronos-Verlag (1. Auflage 2003, 2. Auflage 2004), S. 53
- Hoppmann, R. (2001). Instrumental musicians' hazards. *Occup Med.*, Oct-Dec, 16(4), 619-631
- Irion, H. (1979). Gehörschäden durch Musik – Kritische Literaturübersicht. *Moderne Unfallverhütung*, 23, 89-96
- Irion, H. & Legler, U. (1976). Längsschnittuntersuchungen zur Progredienz der Lärmschwerhörigkeit. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg.)*, May, 55(5), 359-367
- Irion, H. (1978). Musik als berufliche Lärmbelastung, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Fb 174
- James, I. & Savage, I. (1984). Beneficial effect of nadolol on anxiety-induced disturbances of performance in musicians: a comparison with diazepam and placebo. *Am Heart J.*, Oct, 108(4 Pt 2), 1150-1155
- Jansen, G. (1959). Zur Entstehung vegetativer Funktionsstörungen durch Lärmeinwirkung. *Arch, Gewerbepath. Gewerbehyg.*, 17, 238-261
- Jansson, E., Axelsson, A., Lindgren, F., Karlsson, K., & Olausson, T. (1986). „Do musicians of the symphony orchestra become deaf?“ in *Acoustics for Choir and Orchestra (publication 52)*, edited by S. Ternstroem (Royal Academy of Music, Stockholm) S. 62-74
- Jansson, E. & Karlsson, K. (1983). Sound levels recorded within the symphony orchestra and risk criteria for hearing loss. *Scand Audiol*, 12, 215-221
- Jatho, K. & Hellmann, H. (1972). Zur Frage des Lärm und Klangtraumas des Orchestermusikers, *HNO*, 20, 21-29
- Jerger, J. & Jerger S. (1970). Temporary threshold shift in rock-and-roll musicians. *J. Speech Hear. Res.*, 13, 221-224
- Johnson, D., Sherman, R., Aldrige, J. & Lorraine, A. (1985). „Effects of instrument type and orchestral position on hearing sensitivity for 0.25 to 20 kHz in the orchestral musician.“ *Scand. Audiol.*, 14, 215-221
- Johnson, D., Sherman, R., Aldrige, J. & Lorraine, A. (1986). „Extended high frequency hearing sensitivity: a normative threshold study in musicians.“ *Ann. Otol. Rhinol. Otolaryngol.*, 95, 196-202
- Juman, S., Karmody, C. & Simeon, D. (2004). Hearing loss in steelband musicians. *Otolaryngol Head Neck Surg.*, Oct, 131(4), 461-465
- Kähari, K., Axelsson, A., Hellstrom, P. & Zachau, G. (2001). Hearing development in classical orchestral musicians. A follow-up study. *Scand Audiol*, 30(3),141-149
- Kähari, K., Axelsson, A., Hellstrom, P. & Zachau, G. (2001). Hearing assessment of classical orchestral musicians. *Scand Audiol*, 30(1), 13-23
- Kähari, K., Zachau, G., Eklof, M., Sandsjo, L. & Moller, C. (2003). Assessment of hearing and hearing disorders in rock/jazz musicians. *Int J Audiol.*, 42(5), 279-288
- Karlsson, K., Lundquist, P. & Olausson, T. (1983). The hearing of symphony orchestra musicians, *Scand Audiol*, 12, 257-264
- Korhonen, E. (2005). European standardisation of hearing protectors. *Noise Health*, Jan-Mar, 7(26), 55-58
- Kuhl, W. (1976). Keine Gehörschädigung durch Tanzmusik, symphonische Musik und Maschinengeräusche beim Rundfunk. *Kampf dem Lärm*, 23, Heft 4, 105-107
- Kwiatkowski, A., Schäcke, G., Fuchs, A & Silber, P. (1986). Schalldruckpegel im Orchestergraben eines Opernhauses, *Zbl. Arbeitsmed* 36, 58-64
- Laitinen, H. (2005). Factors Affecting the Use of Hearing Protectors among Classical Music Players, *Noise and Health*, 7, 26, 21-29
- Laitinen, H., Toppila, E., Olkinuora, P. & Kuisma, K. (2003). Sound Exposure Among the Finnish National Opera Personnel, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Volume 18(3), 177-182

- Laszig, R. (1992). Lärmvorsorgeuntersuchungen nach dem neuen Grundsatz 20. HNO, Vol.40, 327-330
- Lebo, C. & Oliphant, K. (1968). Music as a Source of Acoustic Trauma. Laryngoscope, 78 (7), 1211-1218
- Lehnhardt, E. (1963). Lärmschwerhörigkeit und akutes Schalltrauma. HNO, 11 (10), 273-282
- Lindgren, F. & Axelsson, A. (1983). Temporary threshold shift after exposure to noise and music of equal energy. Ear and Hearing, 4, 197-201
- Lipscomp, D. (1969). Ear Damage from Exposure to Rock 'n' Roll Music. Arch Otolaryng, Vol. 90, 545-555
- Marquard, U. & Schäcke, G. (1998). Gehörgefährdung durch Musizieren im Orchester, Zbl Arbeitsmed 48, 188-204
- McBride, D., Gill, F., Proops, D., Harrington, M., Gardiner, K. & Attwell, C. (1992). Noise and the classical musician, BMJ 305, 1561-1563
- Meyer, J. (1990). Zur Dynamik und Schallleistung von Orchesterinstrumenten. Acustica, Vol 71 (1990), 277-286
- Micheyl, C., Carbonnel, O. & Collet, L. (1995). Medial olivocochlear system and loudness adaptation: differences between musicians and non-musicians. Brain Cogn., Nov, 29(2), 127-136
- Moller, L. (1980). Performance of musicians under noise. Percept Mot Skills, Feb, 50(1), 301-302
- Obeling, L. & Poulsen, T. (1999). Hearing ability in Danish symphony orchestra musicians. Noise Health, 1(2), 43-49
- Ostri, B., Eller, N., Dahlin, E., & Skyly, G.(1989). „Hearing impairment in orchestral musicians“ Scand. Audiol., 18, 243-249
- Palin, S. (1994). Does classical music damage the hearing of musicians? A review of the literature. Occup. Med. (Lond), 44, 130-136
- Plath, P. (1998). Soziakusis. HNO, 46, 887-892
- Plath, P. (1992). Die Begutachtung der Lärmschwerhörigkeit unter besonderer Berücksichtigung der Abgrenzung zwischen Lärmschäden und anderen degenerativen Erkrankungen des Hörorgans. HNO, 40, 73-78
- Plontke, S. (2005). Konservative Verfahren. Laryngo-Rhino-Otol, 84, Supplement 1, 1-36
- Plontke, S. & Zenner, H.-P. (2004). Aktuelle Gesichtspunkte zu Hörschäden durch Berufs- und Freizeitlärm. Laryngo-Rhino-Otol, 83 Supplement 1, 122-164
- Pree-Candido, M. & Körpert, K. (1999). Lärmbelastung und Lärmschutz bei MusikerInnen, Probleme, Möglichkeiten, Neue Erfahrungen, AUVA
- Rabinowitz, J., Hausler, R., Bristow, G., & Rey, P. (1982). „A study of the effect of loud music on musicians of the Orchestre de la Suisse Romande,“ Medecine et Hygiene 40, 1909-1921. French.
- Redell, R., & Lebo, C. (1972). Ototraumatic effects of hard rock music. Calif. Med., 116, 1-4
- Richter, B. (2001). Pädaudiologische Aspekte der Cochlea Implantation im Kindesalter. Hrsg.: U. Eysholdt. Shaker Verlag
- Richter, B., Zander, M., Spahn, C. (2007). Gehörschutz im Orchester. Freiburger Beiträge zur Musikermedizin. Band 4. Herausgegeben von Claudia Spahn. projektverlag
- Rintelmann, W. & Borus, J. (1968). Noise-induced hearing loss in rock 'n' roll musicians. Arch. Otolaryngol., 88, 377-385, 57-65
- Rintelmann, W., Lindberg, R., Smitley, R. (1972). Temporary threshold shift and recovery patterns from two types of rock 'n' roll music presentations. J. Acoust. Soc. Am., 51, 1249-1255
- Rosanowski, F. & Eysholdt, U. (1996). In-situ-Schalldruckmessung bei einem professionellen Geiger mit bilateralem Tinnitus, Laryngo-Rhino-Otol 75, 514-516
- Royster, J., Royster, L. & Killion, M. (1991). Sound exposures and hearing thresholds of symphony orchestra musicians, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 89, No. 6, 2793-2803
- Ryan, A., Bennett, T., Woolf, N. & Axelsson, A. (1993). Protection from noise-induced hearing loss by prior exposure to a nontraumatic stimulus. Role of the middle ear muscles. Hearing Research, 72, 23-28
- Sabesky, I.J. & Korczynski, R.E. (1995). Noise Exposure of Symphony Orchestra Musicians. Appl Occup Environ Hyg, 10(2), 131-135
- Sataloff, R. T. (1995). Hörverlust bei Instrumentalisten, in J. Bluhm (Hrsg.): Medizinische Probleme bei Musikern, Stuttgart, New York: Thieme 1995, 246-255

- Schäcke, G., Kwiatkowski, A., Fuchs, A. (1987). Audiometrische Untersuchungen bei Musikern, *Zbl Arbeitsmed*, 37, 221-226
- Schmidt, J.M., Verschuure, J. & Brocaar, M.P. (1994). Hearing Loss in students at a conservatory. *Audiology*, 33, 185-194
- Schmuziger, Patscheke, Probst. (2006). Hearing in Nonprofessional Pop/Rock Musicians, *Ear and Hearing*, 27, 321-330
- Schuppert, M., Altenmüller, E. (1999). Berufsspezifische Erkrankungen bei Musikern. *Versicherungsmedizin*, 51, Heft 4, 173-179
- Schwetz, F., Raber, A., Neuberger, M., Körpert, K. & Bauer, P. (1992). Impulshaltiger Lärm und Gehör. *HNO*
- Silbernagl, S., Despopoulos, A. (2003). Taschenatlas der Physiologie. Georg Thieme Verlag
- Singer, K. (1926). Die Berufskrankheiten der Musiker.
- Siroky, J., Sevcikova, L., Folprechtova, A. (1976). Audiological examination of musicians of a symphonic orchestra in relation to acoustic conditions. *Cesk Otolaryngol*, 25 (5), 288-294. Czech.
- Sivian, L.J., Dunn, H. & White, S. (1930). Absolute Amplitudes and Spectra of Certain Musical Instruments and Orchestras. *J.Acoust. Soc. America*, 2, 330-371
- Smitley, E.K., & Rintelmann, W.F. (1971). Continuous versus intermittent exposure to rock-and-roll music. *Arch. Environ. Health*, 22, 413-420
- Speaks, C., Nelson D., Ward, W.D. (1970). Hearing loss in rock-and-roll musicians. *J. Occup.Med.*, 12, 216-219
- Spoor, A. (1967). Presbycusis values in relation to noise induced hearing loss. *Int Aud.* 6, 48-57
- Starck, J., Toppila, E. & Pyykko, I. (2003). Impulse noise and risk criteria. *Noise Health*, Jul-Sep, 5(20), 63-73
- Steurer, M., Simak, S., Denk, D.M. & Kautzky, M. (1998). Does choir singing cause noise-induced hearing loss? *Audiology*, Jan-Feb, 37(1), 38-51
- Strasser, H., Irle, H. & Scholz, R. Zur Gehörgefährdung durch Heavy Metal-Musik und Klassische Musik im Vergleich zu Industrielärm, 291-299
- Swanson, S., 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*, Vol 8, 288-291
- Teie, P. (1998). Noise-induced hearing loss and symphony orchestra musicians: risk factors, effects and management. *Maryland Medical Journal* January, Vol 47 No 1, 13-18
- Wagemann, W. (1966). Spätverlauf der Lärmschwerhörigkeit. *Monatsschr Unfallheilkd Versicher Versorgung Verkehrsmed.*, Jan, 69(1), 23-37
- Wagner (1974). Hand und Instrument
- Wegner, R., Wendlandt, P., Poschadel, B., Olma, K. & Szadkowski, D. (2000). „Untersuchungen zu Wirksamkeit und Akzeptanz von Gehörschutzmaßnahmen bei Orchestermusikern“. *Arbeitsmed.Sozialmed.Umweltmed.*, 35, 10, 486-497
- Welleschik, B. & Raber, A. (1978). Einfluss von Expositionszeit und Alter auf den lärmbedingten Hörverlust. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)*, Dec, 57(12), 1037-1048
- Westmore, G. & Eversden, I. (1981). Noise-induced hearing loss and orchestral musicians. *Arch Otolaryngol*, 107, 761-764.
- Williams, W. (2004). Instruction and the improvement of hearing protector performance. *Noise Health*, Oct-Dec, 7(25), 41-47
- Woolford, D., Carterette, E.C., & Morgan, D.E. (1988). "Hearing impairment among orchestral musicians," *Music Percept.*, 5, 261-284
- Woolford, D.H. (1984). Sound pressure levels in symphony orchestras and hearing. Preprint 2104 (B-1), Australian Regional Convention of the Audio Engineering Society, Melbourne, September 25-27
- Yassi, A., Pollok, N., Tran, N. & Cheang, M. (1993). Risks to Hearing from a Rock Concert. *Canadian Family Physician*, Vol 39, 1045-1050
- Zander, Spahn (2006). Epidemiologie von Musikererkrankungen. *Med Welt* 12/2006, 545-549
- Zeleny, M., Navratilova, Z. & Kamycek, Z. (1975). Relation of hearing disorders to the acoustic composition of working environment of musicians in a wind orchestra. *Cesk Otolaryngol.*, 24(5), 295-299. Czech.
- Zenner, H.P. (1999). Gehörschäden durch Freizeitlärm. *HNO*, 47, 236-248



Zha, X., Fuchs, H. & Hunecke, J. (1997). Verbesserung der akustischen Arbeitsbedingungen im Orchestergraben der Staatstheater Stuttgart. Gesundheits-Ingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik 118, Heft 4, 196-204

## 7. Anhang

### 7.1 Tabelle über Qualitätsmerkmale von Studien

Qualitätsmerkmale von Studien:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition von Hörverlust</li> <li>• Risikofaktoren der Probanden: Alter, Geschlecht, Instrument, Sitzposition im Orchester, Spielen/Üben außerhalb des Orchesters, Lärmexposition (Hobby, frühere Arbeitstätigkeiten im Lärm)</li> <li>• Vorbestehende Ohrpathologien</li> <li>• Familienanamnese</li> <li>• Medikamentenanamnese</li> <li>• Audiometrie sollte vor Proben stattfinden und im Bereich 0,25-8 kHz sein</li> <li>• Größere Studien mit mehr Probanden → wegen statistischer Aussagekraft</li> <li>• Ort der Schallpegelmessungen</li> <li>• <math>L_{eq}</math> mit Expositionsdauer</li> </ul>

### 7.2 Übersicht über die erarbeiteten Studien

<p><b>Jahr:</b> 1960</p> <p><b>Autor:</b> Arnold &amp; Miskolczy-Fodor</p> <p><b>Journal:</b> A. M. A. Archives of Otolaryngology</p> <p><b>Land:</b> USA</p> <p><b>Untersuchte Stichprobe:</b> 30 von 150 Pianisten: 10 Männer im Alter zw. 60-69, 10 Frauen im Alter zw. 60-69, 10 Frauen im Alter zw. 70-80</p> <p><b>Expositionszeit:</b> Profis: 4 h/d; Musiklehrer: 6-7 h/5-6 d/w</p> <p><b>Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:</b> - 70-90 dB, selten über 85 dB; Maximal-Pegel: 64-95 dB - Messung seitlich, Deckel geöffnet, Akkorde über den gesamten Tonumfang - Messpunkte am Platz des Sängers, am Kopf des Pianisten - größte Intensität bei 261-523 Hz</p> <p><b>Ergebnisse:</b> - besseres altersentsprechendes Gehör als Allgemeinbevölkerung - generell schlechteres Gehör bei Männern</p> <p><b>Fazit:</b> - keine Definition für einen Hörverlust - Untersuchung der Probanden: Alter, Krankengeschichte, Medikamentenanamnese, HNO-Untersuchung, Audiometrie (Luft- und Knochenleitung) - Beurteilung der Audiogramme anhand von Mittel- und Medianwerten des Hörverlustes verschiedener altersklassierter Referenzpopulationen</p>
---

- keine A-gewichtete Technik, keine äquivalenten Dauerschallpegel und keine Mittelungspegel
- unwahrscheinlich, dass die gemessenen Intensitäten eine Hörschädigung hervorrufen können

**Jahr:** 1966

**Autor:** Flach & Aschoff

**Journal:** Z Laryngol

**Land:** DDR

**Untersuchte Stichprobe:**

277 Orchestermusiker (Symphonie- und Opernorchester), 202 Probanden < 49 Jahre, 75 Probanden > 50 Jahre

**Expositionszeit:** keine Angaben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Maximalegel 95-120 DIN-Phon im Orchesterraum
- Messpunkt: große Besetzung neben den Bratschen

**Ergebnisse:**

- keine Unterschiede im durchschnittlichen Hörvermögen der versch. Instrumentengruppen
- Geiger: höhere Schallbelastung am linken als am rechten Ohr
- geringe Innenohrschäden in höheren Frequenzen bei Streichern häufiger als bei Blechbläsern
- 8 Geiger (von 111): linksseitige C<sub>5</sub>-Senke, 1 Flötist (von 14): rechtsseitige C<sub>5</sub>-Senke
- audiologisch gering- bis mittelgradige Schallempfindungsstörungen bei 14,5 % der Streicher, 8,5 % der Holzbläser und 2,2 % der Blechbläser
- bei insgesamt 44 Musikern gering- bis mittelgradige Innenohrschäden, wobei bei einem Teil der Patienten eine stärkere Lärmeinwirkung durch Lärmarbeit, Schädelunfälle, Militärdienst nicht ausgeschlossen werden kann

**Fazit:**

- erhobene Befunde: genaue Anamnese, HNO-ärztliche Untersuchung, Audiogramm vor Probe bzw. Konzert
- Schallpegelmessungen in DIN-Phon und nicht in dB(A), keine Mittelungspegel
- Audiometrie nie nach Proben oder Konzerten
- keine Definition, was milder bis moderater Hörverlust bedeutet
- Möglichkeit einer berufsbedingten Lärmschwerhörigkeit im eigentlichen Sinn wurde von Flach und Aschoff beim Orchestermusiker abgelehnt.

**Jahr:** 1968

**Autor:** Lebo & Oliphant

**Journal:** Laryngoscope

**Land:** USA

**Untersuchte Stichprobe:** 1 Symphonieorchester und 2 Rock 'n' Roll Bands

**Expositionszeit:** keine Angaben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Symphonieorchester: Schallenergie zw. 500-4000 Hz, Lautstärke max. 90 dB(A)
- Rock 'n' Roll Band: Schallenergie zw. 250-500 Hz, Lautstärke max. 110 dB(A)
- die meiste Zeit Musik in unteren Frequenzen > 95 dB
- Messung vom Publikumsraum aus im leeren Konzertsaal
- größte Intensität bei 500-2000 Hz

**Ergebnisse und Fazit:**

- Schallpegelmessungen in Sones, Phons, Noys, PNdb, SIL, dba und dbc
- genaue Beschreibung der Schalldruckpegel-Messinstrumente mit computer-gestützter statistischer Auswertung
- Schalldruckpegel, die von einem Symphonieorchester produziert werden, liegen unterhalb der gehörschädigenden Grenze
- bei Rockgruppen sei die Gefahr eines Hörverlustes wegen höherer Schalldruckpegel und Benutzung von Verstärkern größer

**Jahr:** 1968

**Autor:** Rintelmann & Borus

**Journal:** Arch Otolaryngol

**Untersuchte Stichprobe:**

6 Rock 'n' Roll Bands (42 Musiker) in 4 verschiedenen Locations bei 44 Veranstaltungen; im Mittel 19 Jahre alt;

**Expositionszeit:**

11,4 h/w über 2,9 Jahre hinweg

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- SPL von Rock 'n' Roll Musik: 105 dB
- Schalldruckmessungen von 5-60 Fuß von Bühnenmitte entfernt; Schallpegelbereich: 91-114 dB
- größte Intensität bei 63-2000 Hz

**Ergebnisse:**

akustisches Spektrum mit relativ flachem Verlauf im unteren und mittleren Frequenzbereich, allmähliche Abschwächung oberhalb von 2000 Hz

**Fazit:**

- Hörprüfung erst nach 48 h Spielpause
- bei 5 % der Musiker Auftreten eines Hörverlustes

**Jahr:** 1968

**Autor:** Berghoff

**Journal:** Dissertation Universität Köln

**Land:** Deutschland

**Untersuchte Stichprobe:**

65 Musiker aus Rundfunkorchester (30), Big Band (35); 35-45 Jahre alt; in der Streichergruppe bis zu 55 Jahre; 5-25 Jahre Berufstätigkeit, bei den Streichern bis zu 35 Jahre

**Expositionszeit:**

3,5 h/Tag im Ensemble, ca. 5 h/Tag insgesamt; nach 90 min Orchesterprobe Pause von 30-45 min, danach weitere 2 h Probe

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- gemessen wurde der Gesamt- und Allgemeinpegel ohne Differenzierung nach dem Frequenzspektrum oder der Frequenzbandbreite
- Bestimmung der Lärmbelastung anhand der Richtlinien der ISO
- gemessen wurden die Lautstärken in einer Big Band beim Musizieren der einzelnen Instrumentengruppen und des gesamten Orchesters
- Maximalpegel bis 125 Phon
- Messungen am Ohr des Musizierenden und in 1m Entfernung
- auch am Platz des Dirigenten Schallpegel von 85-115 dB
- größte Lautstärken bei den Blechbläsern: 100-115 Phon bei Trompeten und Schlagzeug, 95-110 Phon bei Posaunen
- Lautstärken bei Saxophonen ca. 10 Phon weniger, bei Bass und Klavier 20 Phon niedriger

**Ergebnisse:**

- Überschreiten der altersentsprechenden Norm bei der Messung der durchschnittlichen Hörleistung der untersuchten Berufsmusiker, wobei der Unterschied mit zunehmendem Alter und in den höheren Frequenzbereichen deutlicher wird
- bei 24 Musikern Hörminderungen ab 4000 Hz, aber nur wenige dB
- bei 8 Musikern (8 %) erheblicher Hörverlust, bes. bei 4000 Hz, bei 3 von ihnen nur mit Vorbehalt wegen anderer Belastungen, alle 8 Musiker spielen Trompete, Posaune oder Schlagzeug oder sitzen direkt vor diesen Instrumentengruppen
- keine Seitendifferenzen bei den Hörminderungen
- Hörverluste bei 8000 Hz und 10000 Hz bei Musikern im Alter von 40-60 Jahren
- die Lautstärken in Ohrnähe und in 1m Entfernung vom Instrument zeigen praktisch keinen Unterschied
- Klangspektren der versch. Musikinstrumente stellen Breitbandgeräusche dar, die mehrere Oktaven umfassen und mit steigender Grundtonfrequenz in ihrem Frequenzumfang zunehmen

**Fazit:**

- alle Schallpegelmessungen in Phon und nicht in dB(A)
- Gesamt- und Allgemeinpegel ohne Differenzierung nach dem Frequenzspektrum oder der Frequenzbandbreite
- Kriterium für die Beurteilung der Audiogramme: dekadischer altersbedingter Hörverlust nach Jatho und Heck (1959)
- Audiogramme zu versch. Tageszeiten, aber mind. 15 Minuten nach Probenende
- Schaubild von Sitzordnung und Angabe technischer Daten des verwendeten Lautstärkemessinstrumentes und des Audiometers
- erhobene Befunde: gründliche Anamnese, otologische Untersuchung, ggf. allg. medizinische Untersuchung
- regelmäßiges berufliches Musizieren sei nur dann hörschädigend, wenn der Berufsmusiker den lautstarken Blechblasinstrumenten und dem Schlagzeug ausgesetzt sei, und auch dann sei der Hörverlust nur gering und auf ein schmales Frequenzband bei 4000 Hz beschränkt
- Individuelle Empfindlichkeit sei weit wichtiger als das Ausmaß der Belastung.

**Jahr:** 1970

**Autor:** Speaks et al.

**Journal:** Journal of Occupational Medicine

**Land:** USA

**Untersuchte Stichprobe:** 54 Rockmusiker aus 10 Rock 'n' Roll Bands

**Expositionszeit:** Auftritt: < 4h, nur Musik ; 120-150 min/Session

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- eine Messung bei jeder der 10 Bands, sowohl auf der Bühne als auch auf der Tanzfläche
- SPL bei allen 10 Bands: 105-120 dB
- nur minimale Veränderungen des SPL bei verändertem Messpunkt
- Lärmpegel von 90-110 dB(A)
- größte Intensitäten bei 125-4000 Hz
- auf der Tanzfläche lag der Pegel um 10 dB niedriger als auf der Bühne

**Ergebnisse:**

- TTS bei 25 der 54 Musiker
- bei 50 % temporäre Hörschwellenverschiebungen von 7-8 dB nach dem Auftritt, bei 6 Musikern permanente Hörschwellenverschiebungen
- die Lärmpegel überschreiten den Schalldruckpegel von 90-95 dB, im Oktavband von 63-2000 Hz
- 12 der 25 Musiker mit TTS zeigten eine TTS > 10 dB bei einer Frequenz (4 oder 6 kHz meistens)

**Fazit:**

- keine Selektion von Musikern, die beim Militärdienst oder Jäger waren
- Rock 'n' Roll Musik sei potenziell gehörschädigend, aber nur bei den empfindlichsten Ohren und dann nur nach jahrelanger Exposition.

**Jahr:** 1970**Autor:** Jerger & Jerger**Journal:** J Speech Hear Res**Land:** USA**Untersuchte Stichprobe:**

9 Rock 'n' Roll Musiker: Gruppe A: 5 männl. Musiker im Alter zwischen 17-23 Jahre  
 Gruppe B: 4 männl. Musiker im Alter zwischen 14-15 Jahre

**Expositionszeit:** Gruppe A: 3x/Woche 4,5-5h seit 2 Jahren  
 Gruppe B: 1-2x/Woche 4h seit 1 Jahr

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Messpunkt: Zentrum der Gruppen, Seite der Bühne
- Schallpegelbereich: 104-124 dB SPL; Mittelungspegel: 110-120 dB; größte Intensitäten bei 300-1200 Hz; Schalldruckspitzen bis 130 dB

**Ergebnisse:**

- temporäre Hörschwellenverschiebungen von über 15 dB in mind. einer Frequenzlage zwischen 2000 und 8000 Hz bei 8 von 9 Musikern (TTS)
- bei 3 Musikern der Gruppe A dauernde Hörverluste zwischen 30 und 70 dB bei 2000 Hz im präexpositionellen Audiogramm
- bei 4 der 5 Mitglieder der Gruppe A vorübergehende Hörschwellenverschiebungen (TTS), jeder der Gruppe B ebenfalls vor allem links

**Fazit:**

- Audiogramm vor den Konzerten (mind. 48 h nach einer Musikexposition) und eines innerhalb 1 h nach Konzertende unter Angabe des verwendeten Audiometers (bei beiden Audiogrammen gleiches Gerät) und der Schalldruckmessinstrumente
- Rock 'n' Roll Musik stelle eine ernsthafte Bedrohung für das Ohr dar

**Jahr:** 1971**Autor:** Smitley, Rintelmann**Journal:** Arch. Environ. Health**Land:** USA**Untersuchte Stichprobe:**

40 Probanden; 20 männl. und 20 weibl.; im Alter zwischen 18,6 J. und 24,9 J. mit einem mittleren Alter von 21,6 J.

**Expositionszeit:** keine Angaben**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** overall SPL von 110 dB**Ergebnisse:**

- Unterschied zwischen kontinuierlichem und intermittierendem Schall mit Rockmusik
- Rock 'n' Roll Musik produziert TTS
- größte TTS bei 4000 Hz
- Durchschnitts-TTS bei 4000 Hz nach 2 Min. 27,4 dB für den kontinuierlichen Schall und 24,5 dB für den intermittierenden
- bei allen Frequenzen und bei allen Erholungszeiten beim kontinuierlichen Schall größerer TTS als beim intermittierenden
- die größten Unterschiede bei 3000 Hz nach 90 min
- kein signifikanter Unterschied zwischen männl. und weibl. Probanden
- unter beiden Expositionsbedingungen zeigten manche Probanden ein sehr kleines TTS, während andere mehr als 30 dB Hörverlust aufwiesen, v. a. in der Hochfrequenzregion von 2000-8000 Hz
- bei 65-70 % der Probanden Auftreten einer TTS bei Beschallung mit Musik in beiden Expositionsbedingungen

**Fazit:**

- keine Studienteilnahme bei diesen Kriterien: pos. Familienanamnese, Armeezugehörigkeit oder Bedienen von Feuerwaffen, Arbeit in lauten Umgebungen, Hören von lauter Rock 'n' Roll Musik 48 h vor Studienbeginn
- Rock 'n' Roll Musik stelle eine potenzielle Gesundheitsgefahr für junge Leute dar

**Jahr:** 1972**Autor:** Flach**Journal:** Msch Ohr hk**Land:** DDR**Untersuchte Stichprobe:** 506 Berufsmusiker und Musikstudenten bzw. Musikschüler**Expositionszeit:** keine Angaben**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

Spitzenintensitäten beim Tuttienspiel in großer Besetzung bis zu 120 dB

**Ergebnisse:**

- bei Berufsmusikern (277): 14 Patienten mit Schalleitungsstörungen

- bei Musikstudenten (144): 1 Patient mit chronischer Mittelohreiterung
- Innenohrschwerhörigkeit in 16 % oberhalb der Alterserwartung, bei 4 % Musik als Ursache vermutet
- keine Unterschiede zwischen Instrumenten

**Fazit:**

- Erhebung folgender Befunde: Anamnese, HNO-ärztliche Untersuchung, Audiogramm
- Auftreten einer durch Musik bedingten beruflichen Lärmscherhörigkeit wird für wenig wahrscheinlich gehalten

**Jahr:** 1972**Autor:** Jatho & Hellmann**Journal:** HNO**Land:** Deutschland**Untersuchte Stichprobe:**

65 Berufsmusiker: 30 Musiker aus Rundfunkorchester, 35 aus lautstarkem Rundfunk-Tanzorchester (Big Band); 24-62 Jahre alt

**Expositionszeit:** täglich 4-7 h, davon 3,5 h in Orchestergemeinschaft; Berufsdauer: 11-41 Jahre**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Lautstärke-Messungen als Gesamtpegel etwa 0,5m vor dem Schallaustritt bis 120 dB(B)
- Pegelwerte vor den Blechblasinstrumenten in 1m Distanz am Kopf des nächstsitzenden Musikers um 2-3 dB(B) höher
- Lautstärke-Messungen in 10 m Entfernung vor 5 sog. Beatmusikkapellen zwischen 99 und 105 dB(B)
- erhebliche Klanglautstärken von 110 dB(B) je nach Art des Instrumentes und der Platzierung im Orchester
- Blechbläser und Schlagzeuger erzeugen messbar größere Lautstärken
- Maximal-Pegel: 110-125 dB(B)
- Messpunkte: 10 m vor der Orchestergruppe, direkt und 6 m vor der Orchestergruppe und 4m vor und 12 m links von der Orchestergruppe

**Ergebnisse:**

- über die Gesamtzeit ist das instrumentelle Klangprodukt ein Breitbandgeräusch, aber nach Zeitäsur ein stark überschwelliges Schmalbandgeräusch
- ein großer Teil der Musiker verfügt über ein mit ansteigender Frequenz zunehmend besseres Schwellengehör als die Altersnorm
- ein Drittel (24 Musiker) hat Schwellenhörverluste bes. im oberen Frequenzbereich
- bei 13 % (5 Musiker) deutliche fast seitengleiche C<sub>5</sub>- bzw. Hochtonsenken, fast ausschließlich bei Musikern der lauten Orchestergruppe (Big Band)
- bei 8 % C<sub>5</sub>-Senke durch Musik

**Fazit:**

- alle Messungen in dB(B)
- zur Analyse Verwendung von Terzsieben und Lärmbewertungskurve nach ISO - audiometrische Messungen, wenn möglich, 15 min nach Arbeitsschluss
- Folgende Kriterien für die Beurteilung der Audiogramme: dekadischer altersbedingter Hörverlust nach Jatho und Heck (1959)
- Audiogramme schon nach 15 Minuten Spielpause
- Organische Hörschädigungen bei Berufsmusikern lassen sich nicht für den Einzelfall voraussagen und heben die Bedeutung der individuellen Lärmempfindlichkeit hervor.
- Die eingelegten Pausen von 30-40 min im berufsmusikalischen Alltag erlauben unter Betrachtung der Kryterschen Richtwerte bei grober Schätzung eine Überschreitung der zulässigen Belastungslautstärke im Mittel-Hochtonbereich um höchstens 5-10 dB.

**Jahr:** 1972**Autor:** Redell & Lebo**Journal:** California Medicine**Land:** USA**Untersuchte Stichprobe:** 43 von 50 Hard Rockmusikern und wenige Zuhörer; 39 Männer und 4 Frauen; 22,2 Jahre alt**Expositionszeit:** 1-6 Jahre Berufsdauer**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben**Ergebnisse:**

- alle Musiker berichteten von Tinnitus nach Proben und Konzerten
- chronische Ohrprobleme bei 10 Probanden, 8 waren sich unsicher und bei 25 Musikern keine Beschwerden
- bei 6 Musikern vorherige Erfahrung mit Gehörschutz
- durchschnittliches Audiogramm der 43 Probanden: normales Gehör bis 2000 Hz mit einer Senke unterhalb 8000 Hz, mit dem größten Hörverlust bei 6000 Hz
- SISI-Score: 82 % der 10 Probanden (mit einem durchschnittlichen Hörverlust von 22 dB)
- 20-30 dB Lärmdämpfung von 250-8000 Hz bei Tragen eines Gehörschutzes
- bei 2 getesteten Zuhörern ebenfalls Senke bei 6000 Hz

**Fazit:**

- Erhebung folgender Befunde: otologische Vorerkrankungen, otologische Untersuchung, Audiogramm mit Luftleitung zw. 250-8000 Hz und Knochenleitung bei 4 kHz
- Lärmpause von 12-72 Stunden vor Durchführung der Audiogramme
- Lautstärkereduktion würde das Risiko einer Gehörschädigung verringern, sowohl für den Musiker als auch für den Zuhörer

**Jahr:** 1972

**Autor:** Rintelmann, Lindberg, Smitley

**Journal:** J. Acoust. Soc. Am.

**Land:** USA

**Untersuchte Stichprobe:** 20 weibl. College-Studenten im Alter zwischen 18,11 J. und 22,6 J. (im Mittel 20,10 J.)

**Expositionszeit:** keine Angaben

**Ort und Ergebnisse der Schalldruckmessung:**

- Overall SPL bei 110 dB; Stuhl des Probanden 3 Fuß vom Lautstärker entfernt

**Ergebnisse:**

- Unterschied auf das Gehör zwischen kontinuierlicher und intermittierender Rock 'n' Roll Musik
- durchschnittliche TTS über alle 6 Frequenzen bei der kontinuierlichen Exposition größer als bei der intermittierenden
- schnellere Erholungszeit bei der TTS bei kontinuierlichem Schall
- größte TTS bei 3000 – 6000 Hz mit einem Peak bei 4000 Hz
- Erholungszeit des Gehörs korreliert mit der Frequenz
- ähnliche Ergebnisse im Vergleich zu der früheren Studie von Smitley und Rintelmann 1971, nur unterschiedliche Erholungszeiten
- individuelle TTS schwanken erheblich unter den beiden Expositionsarten, manche zeigen sehr kleine TTS, manche bis zu 30 dB
- Überschreiten der Schadenskriterien von 20 dB bei 80 % der Probanden beim kontinuierlichen Schall und 55 % der Probanden beim intermittierenden Schall
- bei Frequenzen < 4000 Hz kontinuierlicher Schall bei 35 % gesundheitsgefährdend und beim intermittierenden bei 20 %
- Oktavband Formeln, um die TTS vorherzusagen, scheint bei diesem Typ von Musik die bessere Methode zu sein als die Breitband-Formel

**Fazit:**

- Ausschluss von der Studie bei folgenden Kriterien: Hörverlust > 25 dB, pos. Familienanamnese, Mittelohrpathologie, Waffenlärm, großer Umwelt-/Freizeitlärm, Exposition zu Rockmusik in den letzten 48h vor Studienbeginn
- bei Frequenzen < 4000 Hz kontinuierlicher Schall bei 35 % gesundheitsgefährdend, beim intermittierenden bei 20 %

**Jahr:** 1974

**Autor:** Chüden & Strauss

**Journal:** Msch Ohr hk

**Land:** Deutschland

**Untersuchte Stichprobe:** 14 Diskjockeys

**Expositionszeit:** Berufsdauer: 1-10 Jahre

**Ort und Ergebnisse der Schalldruckmessungen:**

- Lärmpegelmessungen in 20 Diskotheken einer westdeutschen Großstadt
- Bewertungsschallpegel: bei 3 Diskos über 90 dB(A) (91-98 dB(A)), bei 8 Diskos zw. 80 und 90 dB(A), bei 9 Diskos leiser als 80 dB(A)
- größte Schallintensität unterhalb 100-2000 Hz

**Ergebnisse:**

- bei 7 Diskjockeys normale Audiogramme (Berufsdauer 1-6 J.)
- 7 Innenohrschäden, bei denen 5 Hochtonsenken als lärmbedingt anzusehen sind (Berufsdauer 3,5-10 Jahre)

**Fazit:**

- Erhebung folgender Befunde: ausführliche Anamnese (HNO-Erkrankungen, Lärmarbeit, Schädeltraumen, Tauchen, Schießen), spezielle Lärmanamnese (tägliche Arbeitszeit, Pausen, Urlaub, Wechsel des Arbeitsplatzes, Lautstärke der einzelnen Diskotheken), HNO-Untersuchung und Audiogramm
- Lärmschädigung des Innenohres durch Diskothekenlärm ist als möglich anzunehmen, das Ausmaß dieser Schädigung sei jedoch gering

**Jahr:** 1975

**Autor:** Zeleny et al.

**Journal:** Cesk Otolaryngol

**Land:** Tschechien

**Untersuchte Stichprobe:** 118 Mitglieder zweier Militärblasorchester; mittleres Alter: 40 Jahre

**Expositionszeit:** keine Angaben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** Schallpegel von 94-114 dB(A) und 99-120 dB

**Ergebnisse:**

- ein Hörverlust > 20 dB bei mind. einer Frequenz bei 85 von 118 Personen (72 %), meistens in höheren Frequenzen
- die Sprachfrequenzen waren bei 6 % betroffen

**Fazit:**

- angegebene Schallpegel sehr unspezifisch
- Kriterien für die Beurteilung der Audiogramme: Hörverlust < 20 dB in allen Frequenzen

**Jahr:** 1976

**Autor:** Siroky et al.

**Journal:** Cesk Otolaryngol

**Land:** Tschechien

**Untersuchte Stichprobe:** 76 Musiker aus Symphonieorchester; 67 männlich, 9 weiblich; mittleres Alter 38 Jahre

**Expositionszeit:** 4 h/Tag

**Ort und Ergebnisse der Schalldruckmessung:** Mittelungspegel von 87-98 dB

**Ergebnisse:**

Hörverluste bei 20 % der Holzbläser, 28 % der Blechbläser, 7 % der Streicher, bei allen Schlagzeugern

**Fazit:**

- kein Hörverlust bei Musikern, die < 10 Jahre berufstätig waren, dagegen aber bei 42 % der Musiker mit > 20 Jahren Berufserfahrung
- keine altersgepaarten Kontrollpersonen zum Vergleich

**Jahr:** 1977

**Autor:** Gryczynska & Czyzewski

**Journal:** Otolaryngol. Pol.

**Land:** Polen

**Untersuchte Stichprobe:** 51 von 90 Mitgliedern eines Symphonieorchesters; 19-62 J.

**Expositionszeit:** keine Angaben

**Ort und Ergebnisse der Schalldruckmessung:** Schallpegel von 86-108 dB(A)

**Ergebnisse:**

- bei 35 Musikern Hörschäden
- bds. normales Hörvermögen bei 16 von 51 Musikern
- 5 Musiker normales einseitiges Gehör, bei allen anderen beidseitiger Hörverlust
- bei 11 Musikern klar lärminduzierter Hörverlust

**Fazit:**

- gemessene Schallpegel undifferenziert angegeben
- Kriterien für die Beurteilung der Audiogramme: Hörverlust < 25 dB in allen gemessenen Frequenzen (Alterskorrektur unklar)

**Jahr:** 1977/1978/1981

**Autor:** Axelsson & Lindgren

**Journal:** Audiology (1977), Scand Audiol (1977), Acta Oto-laryngol (1978), Scand Audiol (1978) und Ear and Hearing (1981)

**Land:** Schweden

**Untersuchte Stichprobe:**

83 Probanden: 69 Popmusiker, 5 Tontechniker, 4 Diskjockeys, 4 Manager, 1 Bühnentechniker; mittleres Alter 26,5 Jahre (17-40 Jahre)

**Expositionszeit:** 9,3 Jahre; 18,3 h/w; 3 h/session

**Ort und Ergebnisse der Schalldruckmessung:**

- Schalldruckspitzenpegel bis 123 dB(A)
- $L_{eq}$  für Musiker von 103 dB(A), für Zuhörer 99 dB(A)

**Ergebnisse:**

- Innenohrschwerhörigkeit über 20 dB auf einem Ohr und bei einer Frequenz: 38 Probanden
- Innenohrschwerhörigkeit nach Alterskorrektur und Miteinbeziehung anderer Lärm-tätigkeiten, angeborenen Hörschädigungen: 25 Probanden = 30 %
- bei den 25 Probanden: Innenohrschwerhörigkeit > 20 dB bei mehr als 1 Frequenz bei 18 Probanden, einseitig bei 7 Probanden, bds. bei 4
- insgesamt: Hörverlust bei 13-30 % der Probanden bei 3-8 kHz
- Frauen insgesamt besseres Gehör als Männer
- 30 Popmusiker (alle männlich) und 18 Zuhörer (10 männlich, 8 weiblich) wurden speziell auf TTS getestet: Dauer der Lärmeinwirkung weniger entscheidend für die Ausbildung eines TTS als Lautstärke
- Popmusiker in den Audiogrammen vor den Konzerten: 5 dB schlechteres Gehör als die Zuhörer
- Musiker weniger TTS nach dem Konzert als die Zuhörer
- bei Popmusikern TTS bei 96 dB(A), bei Zuhörern bei 90 dB(A)
- Zuhörer mehr TTS bei gleicher Exposition und langsamere Rückbildung der TTS
- bei Zuhörern Hörverlust von 6 kHz nach Exposition
- männliche Zuhörer hatten mehr TTS

**Fazit:**

- mit einbezogen in Auswertung: Alter, Ableistung eines Militärdienstes, sonstige Lärm-tätigkeiten und vorhergehende Ohrerkrankungen, die entweder angeboren oder erworben waren
- Beurteilung der gemessenen Audiogramme mittels der altersklassierten Medianwerte nach Spoor (1967)
- vorgenommene Schallpegelmessungen ergaben, dass ein durchschnittliches Ohr für 30 Minuten pro Tag an fünf Tagen in der Woche der Musik ausgesetzt sein kann, ohne ein Risiko für eine Hörstörung zu erleiden
- durch die mittlere Expositionszeit der Probanden von 18 Stunden definitives Risiko für einen Hörverlust, der aber im Durchschnitt nur gering ist

- geringes Risiko für die Zuhörer
- generell steigt das Risiko eines Hörverlustes mit dem Alter, der Expositionszeit pro Woche und der Gesamtexposition

**Jahr:** 1979

**Autor:** Irion

**Journal:** Moderne Unfallverhütung

**Land:** Deutschland

**Untersuchte Stichprobe:**

- Symphonieorchester
- Tonstudios
- Big Bands, Rundfunkorchester, große Tanzveranstaltungen
- Beat- und Rock 'n' Roll Bands
- Diskotheken

**Expositionszeit:**

- 6-7 h/d bei Orchestermusikern, dabei während 2,5 - 4 h/d Lautstärken wie gemessen
- 11,5 h/w bei Amateuren von Beat- und Rock 'n' Roll Bands, 20-30 h/w bei Profis

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Mittelungspegel im Symphonieorchester zwischen 70-90 dB(A)
- Schallpegelbereich bei Big Bands und Tanzveranstaltungen deutlich über 90 dB(A)
- bei Beat- und Rock 'n' Roll Bands ermittelte Schallpegel noch etwas höher als bei Big Bands, vermutlich durch kleinere Räume
- in Diskotheken meist etwas niedrigere Schallpegel als bei „Live-Musik“

**Ergebnisse:**

- erstaunlich hohe Schallpegel bei geübten Sängern, haben in Einzelfällen typische Hochtonsenken
- bei 4 % der Musiker eines Symphonieorchesters leicht- bis mittelgradige Innenohrschwerhörigkeit
- Geiger gehäuft linksseitige Hörsenke
- Grenzwerte werden in Tonstudios bei Unterhaltungsmusik und bei Rock 'n' Roll Musik beträchtlich überschritten

**Fazit:**

- wesentliche Bedeutung: Intensität, Frequenzverteilung, Impuls- und Tonhaltigkeit, Art der Musik, deren Verstärkung und Gestaltung der Räume, wöchentliche Exposition der Musiker und Anzahl ihrer Berufsjahre
- klassische Musik im Allgemeinen sowohl für Musiker als auch für Zuhörer nicht gehörschädlich
- Entwicklung einer gering- bis mittelgradigen Innenohrschwerhörigkeit im Laufe eines Berufslebens bei geringem Teil der Musiker, insbesondere bei Geigern

**Jahr:** 1981

**Autor:** Westmore & Eversden

**Journal:** Arch Otolaryngol

**Land:** Großbritannien

**Untersuchte Stichprobe:** 34 Musiker aus Opern- und Symphonieorchester

**Expositionszeit:** keine Angaben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Maximalpegel: über 120 dB(A)
- Schalldruckmessungen über einen Zeitraum von 14,4 h: Geräuschpegel überstiegen 90 dB(A) während 3,51 h und erreichten mindestens 110 dB(A) während 0,02 h
- Messungen in der Nähe der Holzbläser und des Dirigenten oder zwischen den Streichern, Mikrofonhöhe 1m über dem Boden
- Messungen mit fast-response Option und mit Filter A
- es fand sich kein Unterschied zwischen Orchestergraben und Konzerthalle

**Ergebnisse:**

- bei 23 von 68 Ohren Veränderungen, die man auf einen lärminduzierten Schaden zurückführen kann; die Mehrheit dieser Fälle zeigte nur wenige oder frühe Veränderungen
- bei 4 Musikern Hörverlust über 20 dB bei 4 kHz
- bei 3 Musikern konduktiver Hörverlust bei vorbestehender Otitis media
- weder Alter noch Expositionszeit brachten statistisch signifikante Ergebnisse
- in Holzbläserfraktion die meisten ernstzunehmenden Hörverluste

**Fazit:**

- Erhebung folgender Befunde: Schallpegelmessungen, Audiometrie und Interviews
- Interview umfasste Alter, Instrument, Lokalisation im Orchester und Dauer der Berufsausübung
- bei Audiogrammen nur Beurteilung der Form
- zu wenig Probanden
- keine Angaben zum  $L_{eq}$ , keine Angaben über den Zeitpunkt der Audiometrie
- mögliche Fehler durch TTS
- größeres Risiko für Musiker, die direkt vor den Schlagzeugern und Blechbläsern saßen
- Musiker potenziell gehörschädigenden SPL ausgesetzt
- Effekte von Lärm und Alter sind additiv und könnten im fortgeschrittenen Alter eines Musikers zu erheblichen Problemen führen



**Jahr:** 1979/1981

**Autor:** Frei

**Journal:** Dissertation Universität Zürich

**Land:** Schweiz

**Untersuchte Stichprobe:**

179 Berufsmusiker einer Konzert- und Opernformation, darunter nahmen 139 (78 %) an der klinischen Untersuchung teil und 97 (54 % des Gesamtbestandes und 68 % der Untersuchten) Musiker füllten den Fragebogen aus; 23-64 J.

**Expositionszeit:** Dienstalter: 1-45 Jahre

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- äquivalenter Dauerschallpegel  $L_{eq}$  vor Trompete am Ohr eines Geigers = 94 dB(A) und 1m von der Pauke entfernt am Ohr eines Geigers = 91 dB(A)

**Ergebnisse:**

- Quote der arbeitsbedingten Höreinbußen betrug 44 % (typische Form der Hochtonsenke)
- chronische Schädigungen vor allem bei den Schlagzeugern und den Blechbläsern, v.a. Posaunisten
- akute akustische Traumen nur mit der Impulsschallwirkung von Schlagzeug und Pauken
- körperliche Symptome bei lauten Orchesterpassagen: Pfeifinnitus, Otagie und Hypakusis, Schwindelgefühle, Übelkeit, Kopfweh und Gereiztheit bei über 20 % der Musiker
- 81 (84 %) der Befragten empfanden die Schallintensität bei lauten Orchesterpassagen als belastend
- als Quelle der belastenden Schallintensität wurden Blechblasinstrumente, Schlagzeug und Pauken angegeben
- bei 82 (59 %) Musikern nachweisbare Hörstörung, bei 36,7 % bds. und bei 22,3 % einseitig
- bei einseitigen Hörstörungen fand sich der Hörverlust bei 51,8 % links und bei 45,3 % rechts
- bei 76 Probanden (54 %) fand sich eine Hochtonsenke
- bei 61 Musikern (43,9 %) muss eine berufsbedingte Höreinbuße angenommen werden
- bei 57 Orchestermusikern (41 %) mit normalem Hörvermögen wiederholt ein altersmäßig überdurchschnittliches Reintongehör
- fließende Übergänge zwischen Impulsschall- und den kontinuierlichen Lärmbelastungen
- nahe Paukenschläge oder ein Pauken solo können ein akustisches Trauma hervorrufen
- das Frequenzspektrum der Pauke mit überwiegend tiefen Teiltönen wenig innenohrschädigend
- geblasene Töne haben Dauerschallcharakter
- die hinten sitzenden Posaunisten schädigen am ehesten sich selbst mit einer stärkeren Beeinträchtigung im linken Ohr

**Fazit:**

- erhobene Daten: Eigenanamnese, Anamnese (Alter, Dienstalter, vorbestehende Schädigungen, außerberufliche Gehörbelastung), Funktion im Orchester, subjektive Belastungen, HNO-Untersuchung
- Beurteilungskriterien für die Audiogramme: Hörverlust < 25 dB in allen Frequenzen
- gemessene Dauerschallpegel lassen eine zumindest reversibel schädigende Schalleinwirkung möglich erscheinen, die vor den Trompeten gemessenen Spitzenwerte kommen in den Grenzbereich einer irreversiblen schädigenden Schalleinwirkung auf das Innenohr

**Jahr:** 1981

**Autor:** Folprechtova & Miksovska

**Journal:** Prakov Lek

**Land:** Tschechien

**Untersuchte Stichprobe:**

Opernorchester bei Operaufführung mit 54 und 46 Musikern, bei klassischer Operette mit 31 Musikern und im Probenraum mit 38 Musikern

**Expositionszeit:** 4-6 h/Tag

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Schallpegelmessungen am Platz des Dirigenten: während der Oper Pegel zwischen 88,7 und 90,3 dB(A) mit einem Maximalpegel  $L_{max}$  von 108 und 104 dB(A), während der Operette 86,4 dB(A) mit einem Spitzenpegel von 102 dB(A) und im Probenraum 90,9 dB(A) mit einem Spitzenwert von 103 dB(A)
- die höchsten Schallpegel wurden vor den Schlagzeugern gemessen, die einen  $L_{eq}$  von 93,9 dB(A) aufwiesen und einen Maximalpegel  $L_{max}$  von 109 dB(A)

**Ergebnisse und Fazit:**

Wenn ein Musiker diesen Schallpegeln über längere Zeit ausgesetzt ist, können solche Lärmpegel Hörverluste verursachen.

**Jahr:** 1981/1982

**Autor:** Axelsson & Lindgren

**Journal:** Acta Otolaryngol Suppl. (1981) und Läkartidningen (1982)

**Land:** Schweden

**Untersuchte Stichprobe:**

139 Musiker: 72 aus Symphonieorchester, 48 aus Musiktheaterorchester, 19 im Ruhestand; 17 weibliche (mittl. Alter: 35,2 J.) und 122 männliche (mittl. Alter: 46,3 J.)

**Expositionszeit:** 38,6 h/w incl. Üben und Unterrichten, im Orchester 25 h/w

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- mehrere Schalldruckpegelmessungen mit verschiedenen Mikrofonen und an verschiedenen Orten
- bei Schallpegelmessungen: Werte zwischen 40 und 100 dB(A) und die größte Lautstärke-Energie bei 500 Hz

- Mittelungspegel: 83-92 dB(A)
- Maximalpegel: über 100 dB(A)

### Ergebnisse:

- männliche Musiker hörten schlechter
- bei asymmetrischen Hörstörungen links schlechteres Ohr als rechts
- bei 80 Musikern Hörverlust
- bei 43 % (59 Musikern) ergab sich ein Gehör, das schlechter als für das Alter zu erwarten war
- bei 51 von 59 Musikern kann man davon ausgehen, dass Musik mit die Ursache ist
- im Orchestergraben wurden höhere Lautstärken erreicht
- Musiker, die hinter sich eine Wand hatten, hatten ein erhöhtes Risiko von 2,7 in beiden Ohren
- Musiker, die vor den Streichern spielten, hatten in ihrem rechten Ohr ein besseres Gehör, als man altersentsprechend annehmen würde.
- bei Streichern durchschnittlicher Hörverlust von mehr als 20 dB bei 6 kHz nur im linken Ohr
- bei Holzbläser Hörverlust auf beiden Ohren, vor allem bei 6 und 8 kHz
- bei Blechbläsern insgesamt größter Hörverlust (aber auch die älteste Gruppe)
- Schlagzeuger zeigten den größten Unterschied zwischen dem Gehör des rechten und des linken Ohres.
- Schlagzeuger hatten das beste Gehör, gefolgt von den Streichern, Holz- und Blechbläsern
- Das relative Risiko für einen Hörverlust beim Spielen eines Blechblasinstrumentes lag bei 2,2.
- erhöhtes Risiko für einen Hörverlust bei Horn, Trompete, Posaune und Fagott
- TTS bei Musikern nach Konzerten und nach dem Üben
- größte Lautstärken von Holz- und Blechbläsern, die kleinsten von Streichern
- akustische Reflexe zeigten relativ hohe Reizschwellen mit pathologischen Erhöhungen bei 30 %

### Fazit:

- erhobene Befunde: detaillierte Anamnese, HNO-Untersuchung, Audiogramme (Luft- und Knochenleitung) unter Angabe des Audiometers
- Definition des Hörverlustes: mehr als 20 dB Schwellenverschiebung auf einem Ohr und bei einer Frequenz
- Beurteilungskriterien für die Audiogramme: altersklassierte Medianwerte nach Spoor (1967)  $\pm 15$  dB
- Berücksichtigung der Presbyakusis bei der Auswertung der Daten
- Auswertung der Ergebnisse anhand eines Statistikprogrammes
- Die daraus erfolgten Hörverluste wurden individuell an die abgeleitete Militärdienstzeit und das Alter des Probanden angepasst.
- Nach den Ergebnissen dieser Studie wird ein Einfluss der klassischen Musik auf die Hörverluste angenommen.
- Musik könnte gefährlich sein für das Gehör von Musikern, weil sie erstens laut genug und lange laut genug ist und zweitens, weil die erhöhte Inzidenz der Hörverluste durch keine andere Ätiologie erklärt werden kann.

**Jahr:** 1982

**Autor:** Rabinowitz et al.

**Journal:** Medecine et Hygiene

**Land:** Frankreich

### Untersuchte Stichprobe:

110 von 114 Mitgliedern eines Symphonie- und Opernorchesters, darunter 88 männliche und 22 weibliche Musiker, 38 Probanden waren unter 35 Jahre alt, 47 Probanden zwischen 36 und 50 Jahren und 25 Probanden über 50 Jahre alt

**Expositionszeit:** keine Angaben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben

### Ergebnisse:

- bei 58 Musikern normales Gehör, 52 dagegen hatten Hörverluste über 20 dB
- bei 30 Musikern konnte man andere Ursachen als die Musik für ihren Hörverlust finden (Ohrerkrankungen oder Schüsse z.B.)
- laute Musik führte bei vielen Musikern zur Hörermüdung, zum Tinnitus, zu Kopfschmerzen und zu Nervosität
- bei 100 Musikern war das subjektive Befinden im Studio Ansermet und im Orchestergraben unwohler als in der Victoria Hall
- präventiv Empfehlung von audiometrischen Kontrollen alle 3-4 Jahre
- Empfehlung der Einrichtung von Probenräumen, in denen das Orchester leiser spielen kann als im Konzertsaal und in denen es den Musikern deutlich besser geht
- Die Orchester neigen außerdem dazu, während eines Konzertes oder einer Probe immer lauter zu spielen. Zukünftige Dirigenten und Musiker sollten für diese Probleme sensibilisiert werden. Außerdem sollten die Arbeitsbedingungen genauer analysiert werden und die allgemeinen und speziellen Auswirkungen auf das Gehör und die Gesundheit der Musiker ausgewertet werden.

### Fazit:

- Kriterien für die Beurteilung der Audiogramme: Hörverlust < 20 dB in allen Frequenzen.
- Untersuchung verschiedener Faktoren: Alter, bisherige Spieldauer, Geschlecht, Instrumentenart, Sitzposition im Orchester und Eigenschaften verschiedener Säle
- Die Hörbelastung im Orchester stelle ein Risiko für Musiker dar und führe zu zahlreichen Erkrankungen und subjektivem Unwohlsein.

**Jahr:** 1983

**Autor:** Karlsson et al.

**Journal:** Scand Audiol

**Land:** Schweden

**Untersuchte Stichprobe:**

417 Musiker aus 5 Orchestern (Symphonie und Oper), je Orchester 37-126 Teilnehmer  
337 männlich (mittleres Alter: 41 Jahre), 55 weiblich (37 Jahre)

**Expositionszeit:** keine Angaben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben

**Ergebnisse:**

- kein Unterschied im Hörvermögen von Musikern eines Symphonieorchesters und der Normalbevölkerung
- bei Flötisten beidseitige Absenkung von 20 dB bei 6000 Hz
- bei Bassisten linksseitige Absenkung des Hörvermögens im Hochtonbereich
- insgesamt Seitendifferenz beider Ohren von 5 dB bei 6000 und 8000 Hz, links war es schlechter
- bei den Musikern, die früher beim Militär gespielt hatten, war das Gehör etwas schlechter
- die Standardkriterien für den Industrielärm können nicht auf Orchestermusik übertragen werden
- der lärminduzierte Hörverlust ist innerhalb der ersten 10 Jahre der Lärmexposition am größten

**Fazit:**

- bei Schwellenverschiebungen von > 20 dB: otologische Spiegeluntersuchung
- verschiedene Audiometer für die verschiedenen Orchester, daher erschwerte Vergleich
- nur kleine Anzahl von Frauen unter den Probanden
- Berücksichtigung der Presbyakusis nach Spoor
- musikalische Arbeit im Orchester steigere nicht das Risiko einer Hörstörung, auch wenn einzelne sensible gehöreempfindliche Musiker dadurch einen Hörschaden erleiden könnten

**Jahr:** 1983

**Autor:** Jansson & Karlsson

**Journal:** Scand Audiol

**Land:** Schweden

**Untersuchte Stichprobe:** Symphonie- und Opernorchester

**Expositionszeit:** keine Angaben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Schalldruckmessungen auf der Bühne während drei Konzerten und während zwei Ballettaufführungen im Orchestergraben, jeweils während kompletten Konzerten oder Proben
- 3-4 Mikrophone, 2 an exponierter Position und 2 an normaler Position
- gemessen wurde am Ohr der Musiker in einem Abstand von 30-50 cm
- Schalldruckmessungen zwischen 65 und 125 dB(A)
- Mittelungspegel: 75-99 dB(A), Maximalpegel: 121-125 dB(A)
- äquivalenter Dauerschallpegel in den meisten Messungen um die 85 dB(A), in exponierter Position 93,1 dB(A), in normaler Position 88,9 dB(A)
- Intensitätsmaximum bei den Flöten bei 250-2000 Hz, bei den Hörnern 500-4000 Hz

**Ergebnisse:**

- die erlaubte Lärmdosis ist bei Musik nach einer Expositionszeit von 10 Stunden in exponierter Position und nach 25 Stunden in normaler Position erreicht
- bezogen auf ein wöchentliches Lärmexpositions-Risikolevel von 85 dB(A) liegt „leichte Musik“ wie Mozart 7-10 dB unter dem Level, „mittelschwere Musik“ wie Klavierkonzerte  $\pm 2$  dB um das Level und „schwere Musik“ 5-12 dB darüber
- der äquivalente Dauerschallpegel übersteigt sowohl in den exponierten als auch in den normalen Sitzpositionen das Risikolevel

**Fazit:**

- alle Messungen in dB(A)
- genaue Angabe über Messort und Art der verwendeten Mikrophone
- Einteilung der Musik anhand der Lautstärkemessungen in leichte, mittelschwere und schwere Musik
- Trotz der gemessenen Schallpegel wird ein Hörverlust allein durch die Musik für wenig wahrscheinlich gehalten.

**Jahr:** 1984

**Autor:** Woolford

**Journal:** Australian Regional Convention of the Audio Engineering Society

**Land:** USA

**Untersuchte Stichprobe:** 38 Orchestermusiker aus drei Orchestern; 30 Männer und 8 Frauen

**Expositionszeit:**

- 34 Stunden/Woche privates Üben
- 85 % der Musiker spielen auch noch in anderen Ensembles
- 29 % spielen 12-30 Nächte im Jahr im Orchestergraben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** potenziell schädliche Geräuschpegel

**Ergebnisse:**

- bei 18 Musikern Hörverluste, bei 14 Hörschwellen-Verschiebungen im Bereich von 4000 Hz, 4 Musiker hatten einen geringen Hörverlust nur in den unteren Frequenzen, diese 4 Musiker waren alle über 50 Jahre alt
- 7 Musiker zeigten einen Hörverlust von über 3 %, manche von ihnen hatten bis dahin 35 Jahre im Orchester gespielt
- 40 % der Musiker zeigen nach einem Konzert unspezifische Symptome

**Fazit:**

- Erhebung folgender Befunde: Audiogramm und Interview über Arbeitsvergangenheit, musikalisches Leben und Gehör

**Jahr:** 1985

**Autor:** Johnson et al.

**Journal:** Scand Audiol

**Land:** USA

**Untersuchte Stichprobe:**

60 Musiker aus Symphonieorchester; 42 männlich, 18 weiblich; mittleres Alter: 43 J. (24-64 J.)

**Expositionszeit:** im Mittel 33 h/w; Mittel der Berufsdauer 31,3 Jahre

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

Position innerhalb des Orchesters und die Instrumentenart hat keine Auswirkung auf das Hörvermögen.

**Ergebnisse und Fazit:**

- Beurteilungskriterien für Audiogramme: altersklassierte Medianwerte nach Spoor (1967)
- erhobene Befunde: otologische Anamnese und Untersuchung und Reintonaudiometrie von 0,25 – 20 kHz unter Angabe des Audiometers
- alle Audiogramme mindestens 14 Stunden nach der letzten Probe oder Konzert
- als Kontrolldaten wurden frühere Ergebnisse anderer Autoren verwendet, diese Vergleichsdaten enthielten keine Schwellenwerte bei 6000 Hz.

**Jahr:** 1986

**Autor:** Kwiatkowski, Schäcke, Fuchs & Silber

**Journal:** Zbl. Arbeitsmed

**Land:** Deutschland

**Untersuchte Stichprobe:** Opernorchester

**Expositionszeit:** keine Angaben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Schalldruckpegelmessungen während 21 Aufführungen 12 verschiedener Werke an unterschiedlichen Messpunkten im Orchestergraben
- Mikrophon in Ohrhöhe der sitzenden Musiker auf einem Stativ
- zusätzlich 30 Lärmdosimetrien bei 16 verschiedenen Werken
- Blechbläser: 87-96 dB(A) Mittelungspegel, Spitzenwerte bis 122 dB(A)
- Holzbläser: 88-97 dB(A) Mittelungspegel, Spitzenwerte bis 117 dB(A)
- Violine und Viola: 86-93 dB(A) Mittelungspegel, Spitzenwerte bis 110 dB(A)
- Cello und Kontrabass: 81-87 dB(A) Mittelungspegel

**Ergebnisse:**

- Lärmbelastung abhängig vom gespielten Instrument, dem Sitz im Orchester und in geringem Maße vom gespielten Werk
- die Anteile der als Dauer gehörschädigend angesehenen Werte ab 90 dB(A) liegen bei den Blech- und Holzbläsern am höchsten
- weniger exponierte Musiker sind ähnlich hohen Schallpegeln ausgesetzt, wenn sie direkt vor den Blechbläsern sitzen
- eine realistische Lösung zur Minderung der Schallexposition kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht angenommen werden

**Fazit:**

- alle Messungen in dB(A)
- gemessen wurde der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel ( $L_{eq}$ ) mit genauen Angaben über die Geräte der Schalldruckpegelmessung, der Dosimeter und der Mikrophone
- während der Pausen keine Messungen
- bei den Mittelungspegeln gingen die individuellen Spielpausen in die Berechnung mit ein, daher ergaben sich hier geringere Werte als in anderen Studien
- eine gehörschädigende Wirkung war speziell für die Blech- und Holzbläser nicht auszuschließen

**Jahr:** 1986

**Autor:** Johnson et al.

**Journal:** Ann Otol Rhinol Laryngol

**Land:** USA

**Untersuchte Stichprobe:**

60 Musiker (24-64 Jahre) 42 männl., 18 weibl. und

30 Nicht-Musiker (20-69 Jahre) 15 männl. und 15 weibl.

**Expositionszeit:** im Mittel 33 h/w (12-56 h), Berufsjahre im Mittel 31,3 J. (11-56 J.)

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben

**Ergebnisse:**

- Musiker und Nichtmusiker hatten ein gleich gutes Gehör
- beide Gruppen hatten keine schlechtere Hörschärfe als der Durchschnitt der normalen Altersgruppen
- die Musiker und Nichtmusiker zeigten in gleicher Weise ein reduziertes Hörvermögen von 7,6 dB für jedes kHz über 9 kHz und zusätzlich 1,5 dB für jedes Lebensjahr über 25 für jede dieser Frequenzen

- es zeigte sich kein zusätzlicher signifikanter Lärmereffekt für die Musiker bei der Hörschwelle
- die Daten waren ausreichend, um ein statistisches Modell zu entwickeln, mit dessen Formel adäquat das Hörvermögen in den besonders hohen Frequenzen beschrieben werden kann bei gleicher Kalibrierung des Equipments

**Fazit:**

- Nichtmusiker durften für Studienteilnahme kein Lärmtrauma oder eine Lärmvergangenheit aufweisen
- Erhebung folgender Befunde: Fragebogen zu Anamnese und Lärmvergangenheit und HNO-Spiegeluntersuchung
- detaillierte Angaben zu Equipment und Kalibrierung der Geräte
- der Musikerfragebogen wurde besonders auf das Alter und eine positive Anamnese hin geprüft
- statistische Auswertung und Beschreibung einer Formel, die den Alterseffekt mit einbezieht
- Verwendung zweier audiometrischer Verfahren: zum einen die konventionelle Audiometrie mit den Frequenzen von 0,25-8 kHz und zum anderen speziell die hohen Frequenzen von 9-20 kHz

**Jahr:** 1987**Autor:** Schäcke et al.**Journal:** Zbl Arbeitsmed**Land:** Deutschland**Untersuchte Stichprobe:**

108 Orchestermusiker eines Opernhauses; 100 männlich (Alter: 42 J.), 8 weiblich (Alter: 37 J.)

**Expositionszeit:** Berufsalter: männl. 2-43 J.; weibl. 1-34 J.; mit Ausbildung männl. 28J., weibl. 22 J.**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben**Ergebnisse:**

- bei 16 Musikern auffällige Audiogramme (in Knochenleitung bei 4 kHz mind. 10 dB Hörverlust)
- Geiger, Bratschisten und Cellisten war mit 9 auffälligen Befunden absolut die schlechteste Gruppe, da sie auch mit Abstand die größte war
- relativ gesehen waren die Schlagzeuger am schlechtesten mit 3 auffälligen Befunden bei 4 durchgeführten Audiogrammen
- Minderung der Hörfähigkeit bei Geigern und Bratschisten links mehr als rechts
- bei Musikerinnen meist nur ein Hörverlust von < 20 dB, nur einmal bei 8 kHz 25 dB
- Einwirkung von Schalldruckpegeln > 85 dB(A) führt langfristig zu Hörminderung
- Lebensalter bei Musikern mit auffälligen Audiogrammen mit median 43 Jahren nur um 1 Jahr höher als bei nicht auffälligen Audiogrammen von Musikern
- Spielzeit und Zeitraum: Median-Wert für auffällige Audiogramme um 3-3,5 Jahre höher als bei Musikern mit Hörverlust < 10 dB
- bei Geigern Höreinbuße auf dem linken Ohr

**Fazit:**

- Beurteilungskriterien für die Audiogramme: Hörverlust < 10 dB bei 4 kHz nach Alterskorrektur gemäß berufsgenossenschaftlichem Grundsatz G20 normales Gehör
- keine statistischen Vergleichstests
- bei Audiometrie folgende Umstände: schallisolierte Hörprüfkabine, Angabe des Audiometers, SISI-Test (allerdings ohne Auswertungen), Audiometrie nach mindestens 12 h Pause
- bei 16 Musikern auffällige Audiogramme (in Knochenleitung bei 4 kHz mind. 10 dB Hörverlust)
- die vom Orchester erbrachten Schalldruckpegel seien geeignet, auf Dauer im Einzelfall eine Höreinbuße im Sinne einer Lärmschwerhörigkeit zu verursachen

**Jahr:** 1988**Autor:** Woolford, Carterette, Morgan**Journal:** Music Percept**Land:** Australien/USA**Untersuchte Stichprobe:** 13 Mitglieder eines Philharmonie-Orchesters**Expositionszeit:** keine Angaben**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben**Ergebnisse:**

- bei 5 der 13 Musiker normales bilaterales Gehör
- 8 Musiker zeigten einen Hörverlust in einem oder in beiden Ohren, 4 dieser 8 Musiker hatten einen bilateralen, symmetrischen, mild bis moderat ausgeprägten Hochfrequenz-Hörverlust
- 3 Musiker hatten ein normales einseitiges Gehör und einen Hörverlust in dem anderen, 2 dieser 3 zeigten einen sensorineuralen Hörverlust und einer einen konduktiven Hörverlust
- 13 der 26 Ohren zeigten ein normales Gehör, 11 hatten einen sensorineuralen Hörverlust und nur 2 hatten einen konduktiven Hörverlust
- der durchschnittliche akustische Reflex unterschied sich nicht zwischen Musikern, die gut hörten und denen, die einen Hörverlust aufwiesen
- das durchschnittliche Lautheits-Diskomfort-Level war signifikant niedriger bei den Hörgesunden als erwartet, während das Level der Hörgeschädigten signifikant höher lag

**Fazit:**

- Beurteilungskriterien für die Audiogramme: normales Gehör: < 25 B Hörverlust in allen Frequenzen zwischen 250-8000 Hz, normale Tympanometrie: statische Impedanz nicht 2480 akustische Ohm übersteigend, Mittelohrluftdruck mit 80 mmH<sub>2</sub>O
- Lautheits-Diskomfort-Level in dB SPL

- nur sehr wenige Probanden, daher geringe Aussagekraft
- kein Ausschluss von Probanden wegen Militärdienst oder sonstigen Lärmbeschäftigungen oder lauten Hobbies

**Jahr:** 1989

**Autor:** Ostri et al.

**Journal:** Scand Audiol

**Land:** Dänemark

**Untersuchte Stichprobe:**

96 Musiker aus Symphonieorchester im Orchestergraben

16 weibl. (40,5 J. mittleres Alter) und 80 männl. (44,5 J. mittleres Alter)

**Expositionszeit:**

- 26 h/Woche
- Musikausübung seit im Mittel 24 Jahren (14-35 J.) und beruflich in diesem Orchester seit im Mittel 16 Jahren (6-27 J.)

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine eigenen Messungen

**Ergebnisse:**

- bei 58 % der Musiker Hörstörung im für eine lärminduzierte Hörstörung typischen hohen Frequenzbereich, 50 % der männl. Musiker und 13 % der weibl. Musiker
- unter den Geigern signifikant schlechteres Gehör bei den hohen Frequenzen auf der linken Seite
- 1 Musiker (1 %) gab Hörprobleme in ruhiger Umgebung an, 12 Musiker (13 %) in Lärmumgebungen; 6 von diesen 12 hatten einen Hörverlust im Audiogramm
- Tinnitus wurde von 4 Musikern (4 %) angegeben und 36 Musiker (38 %) litten an vorübergehenden Hörschwellenverschiebungen von 1/2 bis zu 8 h nach einer Aufführung
- Ausschluss von 5 Musikern aufgrund von vorbestehenden Ohrerkrankungen
- wegen zu geringer Anzahl an Probanden, keine Aussage über Musikerinnen
- bei den Schlagzeugern (mittleres Alter von 34 Jahren) schlechtestes Gehör von allen auf der linken Seite
- Frauen hatten ein besseres Gehör
- 40 Musiker (42 %) hatten ein normales Gehör
- in allen Altersgruppen wurden Unterschiede zur Referenzgruppe gefunden

**Fazit:**

- keine eigenen Schallpegelmessungen
- nur 4 Musiker des Orchesters nahmen nicht an der Studie teil
- nicht-parametrische Tests zur Untersuchung der Hörverlust-Seitendifferenzen
- normales Gehör: Hörverlust von unter 20 dB HL
- erhobene Befunde: Vorerkrankungen, speziell des Ohres und Lärmexposition im Militär u.ä., Otoskopie, Audiometrie, Sprachaudiometrie, Impedanzaudiometrie mit akustischer Reflexmessung
- alle Hörprüfungen durch die gleiche Person, mindestens 14 Stunden nach der letzten Exposition
- Ergebnisse der Studie wurden mit den Standards der ISO 7029 verglichen, basierend auf einer gescreenten Population Normalhörender
- Ausschluss von Musikern mit Ohrpathologien
- Musiker haben ein erhöhtes Risiko, eine Hörstörung zu entwickeln im Gegensatz zur Referenzgruppe
- Position auf der Bühne und Instrumententyp haben keinen signifikanten Einfluss auf den Hörverlust

**Jahr:** 1990

**Autor:** Cudennec et al.

**Journal:** Ann Oto-laryngol Chir Cervicofac

**Land:** Frankreich

**Untersuchte Stichprobe:** 76 Musikern einer Militärkapelle der Republikanischen Garde

**Expositionszeit:** keine Angaben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben

**Ergebnisse:**

- nur 9 % der Audiogramme normal
- Schädigungen eher bei den hohen Frequenzen (87 %) als bei den tiefen (49,5 %) und eher bei den Schlagwerkern als bei den Blasinstrumentalisten
- 94 % der Schädigungen zwischen 4 und 18 kHz und in 97,5 % der Fälle symmetrisch
- Schädigung der hohen Frequenzen meist durch die Blasinstrumente
- gespürte Hörbeschwerden bei Musikern betrafen eher die Blasinstrumentalisten und korrelierten nicht unbedingt mit audiometrischen Verlusten; sie traten häufig zusammen mit Lärmunverträglichkeit auf, und zwar bei denjenigen, die ein Hördefizit im Bereich der hohen Frequenzen hatten
- manche Instrumente (vor allem die Schlagwerke) wurden, wenn sie mit hoher Intensität gespielt wurden, von den anderen Musikern schwer ertragen, vor allem von den Blasinstrumentalisten
- Zeichen für Hypoakusis traten eher bei Blasinstrumentalisten auf, während der Tinnitus im Allgemeinen 22 % der Personen betraf
- Prävention von professionell bedingter Schwerhörigkeit/Taubheit: Berücksichtigung im Bereich der Schlaginstrumente; Technische Zwänge verhinderten jedoch die individuellen Schutzmaßnahmen bei Blasinstrumentalisten; Vergrößerung und akustische Verbesserung der Übungssäle und Verteilung der Musiker auf einer Bühne mit mehreren Ebenen

**Fazit:**

- Begleiterscheinungen wie Hörermüdung, Lärmunverträglichkeit, Tinnitus, Ohrenschmerzen, Schlafstörungen, psychische Unruhe und Gleichgewichtsstörungen wurden ebenso berücksichtigt wie begünstigende Faktoren (Veranlagungsfaktoren).
- Dabei sollten spezifische Eigenschaften eines jeden Instrumentes dargestellt werden.

**Jahr:** 1991

**Autor:** Royster et al.

**Journal:** J. Acoust Soc. Am.

**Land:** USA

**Untersuchte Stichprobe:**

59 (von 100) Musiker aus Symphonieorchester; 64 männlich (mittleres Alter: 53,2 J.), 13 weiblich (mittleres Alter: 49,5 J.)

**Expositionszeit:** 15 h/w Orchesterdienst

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Mittelungspegel beim Orchester: 79-99 dB(A), basierend auf einem 8-h-Tag beträgt er noch 75-95 dB(A), im Mittel 85,5 dB(A)
- Maximalpegel: 124 dB(A)
- Mittelungspegel beim Geiger: 93-97 dB(A), während verschiedener Soloproben mit einer Dauer von 1,5-5,7 Stunden
- 68 Dosimeter wurden von 44 Musikern getragen, während zwei separaten Wochen und im Abstand von mehreren Monaten
- in der ersten Woche wurden Pegel von 79-99 dB(A) und in der zweiten Woche von 83-97 dB(A) gemessen
- in 82 % der Dosimeter war der Maximalpeak 130 dB(A) oder darunter und nur bei 2 Dosimetern überschritten die Maximalpeaks 140 dB(A), die größte Mehrheit lag zwischen 115-129 dB(A)
- bei 76 % der Messungen 110 dB(A) oder niedriger

**Ergebnisse:**

- Geiger hatten ein signifikant schlechteres Gehör auf der linken Seite bei 3-6 kHz
- im Vergleich zur unselektierten Referenzgruppe zeigten die Musiker ein besseres Gehör, im Vergleich zur selektierten Gruppe (ISO 7029) hatten sie ein etwas schlechteres Gehör
- 52,5 % der untersuchten Ohren, 42 Personen (71 %), zeigten Zeichen eines permanenten lärminduzierten Hörschadens
- das Gehör der Frauen war besser als das der Männer

**Fazit:**

- alle Messungen in dB(A)
- Beurteilung der Audiogramme lediglich anhand ihrer Form
- erhobene Befunde: Audiogramm und Dosimeter
- Durchführung der Audiogramme vor den Proben, aber mit unterschiedlichen Audiometern
- Anhand der Dosimetrie-Ergebnisse scheint das Risiko für ein akustisches Trauma in einem Orchester klein zu sein.
- Musiker mit Freizeitlärm werden früher eine Hörstörung entwickeln als die ohne Lärm.
- Bei einigen Musikern dürften die Übungsstunden alleine zu Hause gehörschädlicher sein als das Spiel im Orchester.
- Die Musiker, die Kontrabass, Cello, Harfe oder Klavier spielen, haben das geringste Risiko, weil ihre Instrumente am leisesten sind.

**Jahr:** 1992

**Autor:** Mc Bride et al.

**Journal:** BMJ

**Land:** USA

**Untersuchte Stichprobe:** 63 Musiker von 89 (70 %) eines Symphonieorchester

**Expositionszeit:** keine Angaben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Schalldruckmessungen wurden während fünf Proben und zwei Konzerten durchgeführt, jeweils von zentraler Stelle auf der Bühne aus
- Verwendung dreier konkurrierender Messstrategien
- Mittelungspegel: 77-97 dB(A)
- Maximalpegel: 95-113 dB(A)
- in der Hälfte der Probenaufnahmen übersteigen die Messungen 85 dB
- Schallpegel neben Horn, Trompete und Fagott überschreiten manchmal 90 dB

**Ergebnisse:**

- Trompeter und Piccolo-Spieler erreichten eine Lärmdosis von 160 % und 124 %
- der Vergleich von 18 Holzbläsern und Blechbläsern mit 18 Streichern, angepasst an Alter und Geschlecht, ergab keinen signifikanten Unterschied im Gehör bei den hohen Frequenzen, aber bei den tiefen
- die Schlagzeuger sind weniger gefährdet, da sie einen tieferen Frequenzbereich erzeugen, der weniger schädigend ist
- einige Musiker sind Lärmpegeln ausgesetzt, die gelegentlich die Behaglichkeitsgrenze überschreiten und das berufliche Lärmexpositionslevel Musik zu erhalten haben.

**Fazit:**

- Erhebung folgender Befunde: audiometrischer Fragebogen, HNO-Spiegeluntersuchung, Audiogramm
- Einige Musiker sind Lärmpegeln ausgesetzt, die gelegentlich die Behaglichkeitsgrenze und das berufliche Lärmexpositionslevel überschreiten.
- Musiker seien potenziell gefährdet, einen Hörschaden von klassischer Musik zu erhalten.
- Streicher haben ein geringes Risiko, während Holz- und Blechbläser ein hohes Risiko haben.

**Jahr:** 1992

**Autor:** Drake-Lee

**Journal:** Journal of the Royal Society of Medicine

**Untersuchte Stichprobe:** 3 Rockmusiker und der Chef-Roadie; 25-37 Jahre

**Expositionszeit:** Berufsdauer zwischen 5 und 17 Jahren

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

Schalldruckpegel von über 135 dB auf der Bühne und im Auditorium

**Ergebnisse:**

- alle hatten nach den Konzerten schon mal ein Wattegefühl im Ohr und einen zeitweiligen Tinnitus
- alle hatten einen Abfall der Hörschwellenkurve bei 6000 Hz vor dem Konzert
- nach dem Konzert hatten alle einen Hörschwellenabfall auf allen Frequenzen, außer beim Sänger

**Fazit:**

- alle Musiker gaben keine weitere Lärmexposition außer ihrer Musik an
- die otologische Untersuchung, die vor Erstellung der Audiogramme vorgenommen wurde, war bei allen Probanden ohne Befund
- Es bestehe ein kleines aber definitives Risiko, einen Hörschaden durch diese Art der Musik zu erleiden.

**Jahr:** 1993

**Autor:** Yassi, Pollock, Tran, Cheang

**Journal:** Canadian Family Physician

**Land:** Kanada

**Untersuchte Stichprobe:** 11 Männer und 11 Frauen im Alter zwischen 18 und 40 Jahren

**Expositionszeit:** keine Angaben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- anhand der dosimetrischen Daten: alle Probanden erfuhren während eines Konzertes eine mehr als doppelt so hohe akzeptable tägliche Lärmdosis; manche erreichten sogar das Vierfache
- unterschiedliche Lärmpegel an verschiedenen Positionen der Gruppen
- Spitzenpegel: 139,5 dB(A), nur knapp unter dem bedenklichen Level 140 dB, bei dem irreversible Hörschäden verursacht werden können.

**Ergebnisse:**

- bei 20 Probanden normales Gehör
- 2 Probanden hatten durch ein früheres akustisches Trauma bereits vor dem Konzertbesuch einen Hörverlust von 5 bis 10 dB bei 4000 Hz auf einem Ohr
- alle Probanden gaben an, mindestens 24 Stunden vor dem Konzert keinem lauten Lärm ausgesetzt gewesen zu sein
- insgesamt lautere Schallpegel in der zweiten Hälfte des Konzertes als in der ersten
- zwischen dem Konzert und der ersten audiometrischen Testung lagen zwischen 5 und 25 Minuten
- 60 % der Probanden beschrieben den Schallpegel als „zu laut“ oder als „intolerabel“
- acht der 18 Probanden mit einem signifikanten Hörverlust, gaben diesen auch subjektiv an
- 13 Probanden (fast 60 %) hatten nach dem Konzert einen Tinnitus
- keine Unterschiede bei Alter oder Geschlecht
- bei 8 von 21 Probanden Auftreten einer TTS, die 20 dB bei 3000 Hz überstieg
- nach 40-60 Minuten hatten noch 10 Personen eine signifikante TTS bei 4000 Hz
- diejenigen, die eine TTS bei 2000 Hz oder 8000 Hz aufwiesen, erholten sich schneller

**Fazit:**

- signifikanter Hörverlust: Hörschwellenverschiebung um 10 dB oder mehr
- Probanden, die bei der ersten Messung eine TTS aufwiesen, wurden nach 40-60 Minuten erneut getestet, wenn dann immer noch eine Hörschwellenverschiebung nachweisbar war, wurden sie nach 24 h noch einmal.

**Jahr:** 1994

**Autor:** Funk, Kessler & Kurz

**Journal:** Bühnen-technische Rundschau

**Land:** Deutschland

**Untersuchte Stichprobe:** Opernorchester

**Expositionsdauer:**

Tätigkeiten pro Woche:

4 Stunden Aufführung:  $L_{Aeq} = 92$  dB; 12 Stunden Unterricht/Proben:  $L_{Aeq} = 85$  dB; 25 Stunden sonstiges:  $L_{Aeq} = 75$  dB

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessungen:**

- Messungen während Proben und Aufführungen an Opernhäusern
- die Mikrophone waren jeweils auf Ohrhöhe positioniert
- Messungen ergaben äquivalente Dauerschallpegel von 86-95 dB
- ergänzende Messungen bei Soloproben in einem Abstand von 40 cm zum Instrument: Klarinette, Trompete, Pauke  $L_{max} = 122$  dB - 140 dB
- für Trompete ergibt sich nach einem Übungszeitraum von 85 min ein äquivalenter Dauerschallpegel von 96 dB(A)

**Ergebnisse:**



- Schallexposition auf Prodebühnen ist geringer als in Orchestergräben
- Orchesterbesetzung, Werkinterpretation und Dynamik haben entscheidenden Einfluss auf die Belastung der Musiker

**Fazit:**

- alle Messungen in dB(A)
- Berücksichtigung von unterschiedlichen Räumlichkeiten und Musikrichtungen bei den Messungen
- Durchführung der Messungen nach DIN 45645, woraus dann die äquivalenten Dauerschallpegel ( $L_{eq}$ ) ermittelt wurden
- Orchesterbesetzung, Werkinterpretation und Dynamik hatten entscheidenden Einfluss auf die Belastung der Musiker.
- Die Belastung des Gehörs, je nach Sitzplatz im Orchester, war zu hoch.
- Bei einer zweistündigen Darbietung, bei der ein äquivalenter Schalldruckpegel von 91 dB(A) einwirkt, sei eine Gehörschädigung nicht auszuschließen.

**Jahr:** 1994**Autor:** Schmidt, Verschuure, Brocaar**Journal:** Audiology**Land:** Niederlande**Untersuchte Stichprobe:**

79 von 93 Musikstudenten; 50 männl., 29 weibl.; mittleres Alter 25 Jahre (21-40 J.)

Kontrollgruppe mit Medizinstudenten; 28 männl., 29 weibl.; mittleres Alter 25 Jahre (21-48 J.)

**Expositionszeit:**

- Die meisten Musiker begannen zwischen dem 6. und 9. Lebensjahr mit dem Musizieren.
- Mittlere Zeit des Übens 7 h/Woche, während des Studiums dann bis zu 18 h /Woche.
- Hören von Musik 10 h/Woche, bei einem Drittel der Zeit mit Kopfhörern

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben**Ergebnisse:**

- Lärmsenke wurde in 16 % der Musiker und in 14 % der Kontrollgruppe festgestellt, nach Abzug der bekannten Ursachen für einen Hörverlust bleiben noch 19 % der Musiker und 11 % der Kontrollgruppe.
- Ein Hochfrequenz-Hörverlust fand sich in der Kontrollgruppe häufiger.
- Bei dem besonders hohen Hörverlust fand sich kein signifikanter Unterschied.
- Ein konduktiver Hörverlust wurde nicht gefunden.
- Grad des Hörverlustes in der Gruppe der Musiker: Lärmsenke 28 dB, Hochfrequenz 27 dB, bes. Hochfrequenz 31 dB; Bei der Kontrollgruppe: Lärmsenke 26 dB, Hochfrequenz 29 dB, bes. Hochfrequenz 34 dB; → kein statistisch signifikanter Unterschied
- Lärmsenken waren unter Popmusikern häufiger als unter klassischen Musikern.
- keine Signifikanz bei der Asymmetrie der Ohren
- Die meisten Musiker hatten ein exzellentes Sprachaudiogramm.
- Die Alterskorrektur und die Eliminierung der bereits geschädigten Ohren reduzierten den Prozentsatz an bes. hohen Hörverlusten.

**Fazit:**

- audiometrische Messungen: Standard-Audiogramm mit Luft- und Knochenleitung von 250 Hz – 8000 Hz, Hochfrequenzaudiogramm mit Luftleitung von 8-20 kHz, Sprachaudiogramm
- Inhalt des Fragebogens: Musikinstrument, Spieldauer, Übedauer, andere Gründe für Hörverlust (Walkman, Schiessen, laute Hobbies), Gründe für Verweigerung der Studienteilnahme
- Lärmsenke wurde als Hörverlust  $\geq 20$  dB bei 3,4 oder 6 kHz definiert
- Hochfrequenz-Hörverlust wurde definiert als Hörverlust  $\geq 20$  dB bei 3,4,6 oder 8 kHz
- besonders hochfrequenten Hörverlust definierten die Autoren als Hörverlust  $\geq 20$  dB bei 10,12 oder 14 kHz
- konduktiver Hörverlust definierte sich als Hörverlust  $\geq 10$  dB Differenz zw. Luft und Knochen
- Referenzkurven für Alter wurden nach ISO 7029 und nach Dreschler et al. entnommen
- Exposition der Musikstudenten mit Musik hat noch keinen Effekt auf die Schädigung des Ohres gezeigt
- wurde ein Hörverlust gefunden, war dieser klein; keine Beeinträchtigung des Sprachverstehens
- sehr hohe Prozentsätze an Musikern und Kontrollgruppe hörten in den bes. hohen Frequenzen nicht gut
- daher kann die bes. hohe Audiometrie ab 8 kHz nicht als früher Indikator für die Erkennung einer lärmbedingten Hörschlechterung angesehen werden

**Jahr:** 1995**Autor:** Sabesky & Korczynski**Journal:** Appl. Occup. Environ. Hyg.**Land:** Kanada**Untersuchte Stichprobe:** 67 Musiker eines Symphonieorchesters**Expositionszeit:** keine Angaben**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- bis zu acht Messungen gleichzeitig an verschiedenen Positionen innerhalb des Orchesters
- Mittelungspegel: Oper: 82-100 dB(A); Konzertbühne: 83-97 dB(A); Orchestergräben: 82-100 dB(A); Proberaum: 85-98 dB(A)
- Messungen von 2,5 - 6 Stunden
- 32 Musiker brachten insgesamt 50 Dosimetrie-Ergebnisse

**Ergebnisse:**

- weder die Beschaffenheit der Bühne noch das Repertoire ergeben einen Unterschied in dem Bezugsschallpegel

- höchste Lärmexposition in oder direkt vor der Holz- und Blechbläsergruppe → 26 der 30 Musiker hatten Lärmexposition > 85 dB(A)
- Schlagzeuger erfuhren die geringste Lärmbelastung
- die 8-h-Belastung verringert sich mit dem Abstand von Holz- und Blechbläsern
- die gemittelten 8-h- bezogenen Schallpegel betragen: Probenraum: 85 und 86 dB(A), Orchestergraben: 85 und 86 dB(A), Konzertbühne: 82,84 und 88 dB(A)
- 96 % oder 48 Musiker überschritten 80 dB(A), 60 % oder 30 Musiker überschritten 85 dB(A) und 16 % oder 8 Musiker überschritten 90 dB(A)
- Hornist: gemittelter  $L_{eq}$  = 94 dB(A), Mittelungspegel = 114 dB(A), Maximalpegel = 125 dB(A)
- Dosimeter hinter der Bühne: 77 dB(A), in der 10. Reihe = 78,5 dB(A)

**Fazit:**

- alle Messungen in dB(A)
- ein Dosimeter hinter der Hauptbühne und einer in der zehnten Reihe des Publikumsraums, Daten wurden nicht mitanalysiert

**Jahr:** 1995**Autor:** Axelsson, Eliasson, Israelsson**Journal:** Ear and Hearing**Land:** Schweden**Untersuchte Stichprobe:**

Folgestudie: 53 der 83 Pop-/Rockmusiker (82 % der Musiker der ersten Studie) : 1 Tontechniker, 1 Manager, 3 Diskjockeys; mittleres Alter: 41,2 Jahre

**Expositionszeit:**

20-25 h/w; 26,6 Jahre berufstätig; 40 der Musiker sind noch professionell aktiv, darunter 16 Gitarristen, 8 Percussion, 3 Akkordeon, 3 Saxophonisten, 3 Sänger, 2 Pianisten, 2 Organisten, 2 Bassisten und 1 Mandoline

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

95 dB(A) in Diskotheken, 105 dB(A) bei Rockkonzerten

**Ergebnisse:**

- 63 % hatten ein normales Hochfrequenz-Reintonaudiogramm
- 15 % hatten einen moderaten Hochtonhörverlust < 25 dB HL
- 8 % hatten einen geringen Hörverlust
- 2 Musiker meinten, durch die Musik ein akustisches Trauma erlitten zu haben
- der Vergleich der Audiogramme der Musiker, die noch aktiv spielten mit denen, die nicht mehr aktiv spielten ergab keinen Unterschied, keiner der Musiker, die nicht mehr als solche arbeiteten, gab als Grund, aufgehört zu haben Ohr- oder Hörprobleme an
- bei den 16 Gitarristen ergab sich kein Hörverlust
- bei den 8 Percussion-Musikern zeigte sich ein Hörverlust auf dem rechten Ohr bei 4 und 6 kHz, auf dem linken Ohr bei 3,4 und 6 kHz
- Das Gehör der noch aktiven Musiker war etwas besser bei den Frequenzen 1,2,4 und 8 kHz im Vergleich zu den Musikern, die aufgehört hatten oder zu denen, die nicht an der zweiten Studie teilgenommen hatten.
- 3 der 40 aktiven Musiker hatten keinerlei audiologische Symptome, 12 dieser beklagten einen Hörverlust, 1 eine Überempfindlichkeit auf Geräusche, 7 einen Hörverlust mit Tinnitus, 5 einen Hörverlust mit einer Überempfindlichkeit und 2 einen Hörverlust mit Tinnitus und Überempfindlichkeit
- 3 der nicht mehr aktiven Musiker hatten keinerlei Symptome, 7 hatten einen Hörverlust und 1 litt an der Kombination von Hörverlust, Tinnitus und Überempfindlichkeit

**Fazit:**

- nur wenig Unterschied zwischen den beiden Gruppen, bezogen auf die subjektiven Symptome
- generell schlechteres Audiogramm bei Musikern mit Tinnitusbeschwerden
- Anzahl der Ohren, die außerhalb des 90 %-Konfidenzintervalles lagen, war weniger als in der ersten Studie, was bedeutet, dass die noch aktiven Musiker ein vergleichsweise gutes Gehör haben und ein relativ besseres Gehör als in der ersten Studie.
- Diese Folgestudie bestätigt die überraschende Resistenz gegenüber hohen Schalldrücken.

**Jahr:** 1996**Autor:** Early & Horstmann**Land:** Appl. Occup. Environ. Hyg.**Journal:** USA**Untersuchte Stichprobe:**

2 Highschool-Blaskapellen, 1 Universitätsblaskapelle, 1 Highschoolband, 1 Band, 1 Schlagzeugensemble und 1 Soft-Rockband

**Expositionsdauer:** 4-5 Tage die Woche 1-4 Stunden

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

5 Dosimeter auf der Schulter der Musiker auf der entgegengesetzten Seite des Instruments: Spitzenpegel von 99,5 – 135,7 dB(A)

**Ergebnisse und Fazit:**

Viele Musiker sind Lärmpegeln ausgesetzt, die die OSHA-Kriterien (Occupational Safety and Health Administration = 90 dB(A) für einen 8-Stundentag) übertreffen und das sogar bei einem geringen Probenaufwand von 1-3 Stunden. Vor allem in kleinen Proberäumen wurden die Kriterien übertroffen.

**Jahr:** 1996

**Autor:** Rosanowski & Eysholdt

**Journal:** Laryngo-Rhino-Otol

**Land:** Deutschland

**Untersuchte Stichprobe:**

1 Geiger, 42 J., mit bilateralem Tinnitus, der sich bei verschiedenen Geigen unterschiedlich stark und schmerzhaft präsentiert

**Expositionsdauer:** 6 h /Tag

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

die gemessenen Schalldruckpegel erreichen beim Forte-Spiel potenziell innenohrschädigendes Ausmaß

**Ergebnisse:**

- rechts normales Hörvermögen
- links diskrete Hochtonhörinderung von bis zu 20 dB
- OAEs nur rechts reproduzierbar evozierbar, Tinnitus bds. verdeckbar, Nachverdeckung nur rechts positiv
- In-Situ-Messung: unterschiedlich spektrales Schalldruckverhalten der beiden Geigen konnte trommelfellnah verifiziert werden.

**Fazit:**

- auch nach jahrzehntelanger beruflicher Tätigkeit als Orchestermusiker führte diese nur in Ausnahmefällen zu einer Hörminderung von entschädigungspflichtigem Ausmaß
- Die Forderung nach arbeitsmedizinischen audiometrischen Untersuchungen wird hier unterstützt. Gleichzeitig wird für die Entwicklung adäquater Schallschutzmaßnahmen geworben.

**Jahr:** 1998

**Autor:** Steurer, Simak, Denk, Kautzky

**Journal:** Audiology

**Land:** Österreich

**Untersuchte Stichprobe:**

62 der 82 Mitglieder eines Chores; 30 Frauen (15 Sopran, 15 Alt) im Alter zwischen 34 und 58 Jahren und 32 Männer (13 Tenöre, 19 Bässe) im Alter zwischen 39 und 61 Jahren

Kontrollgruppe mit 11 jungen Frauen und 16 Männern, die im Lärm arbeiten.

**Expositionsdauer:**

Die weiblichen Sängerinnen waren Profis seit durchschnittlich 27 Jahren mit einer durchschnittlichen Übe- und Konzertdauer von 15 und 29 h/Woche.

Die männlichen Sänger waren seit 24 J. Profis und hatten eine Übe- bzw. Aufführungsdauer von 28 h bzw. 15 h/Woche.

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben

**Ergebnisse:**

- Es ergab sich kein statistischer Unterschied zwischen Männern und Frauen, aber der Hörverlust war bei den Frauen größer.
- Es ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede in den einzelnen Stimmen.
- Das Hören von Musik über Kopfhörer gefährdet das Gehör im oberen Frequenzbereich.
- PTS bei 250 Hz und darüber sind wahrscheinlich durch das Singen im Chor verursacht, Hörverluste von 125 Hz und teilweise von 250 Hz dürften andere Ursachen haben.
- Große Teile der Sound-Energie können unterhalb von 1 kHz und sogar unter 500 Hz gefunden werden.
- Der tiefe Frequenzbereich war am meisten betroffen.

**Fazit:**

- eigene Daten wurden mit mehreren Referenzgruppen, ISO 7029 und Daten aus anderen Studien verglichen
- Inhalt des Fragebogens: Alter, Geschlecht, Lebensstil, soziale Situation, Gesundheitszustand, Berufsdauer, Singdauer und Aufführungsstunden pro Woche
- zusätzlich Durchführung von Blutuntersuchungen, einer HNO-Untersuchung und eines Audiogrammes
- Chöre können Schalldruckpegel von 110 dB(A) erzeugen und sind damit potenziell gehörschädigend.

**Jahr:** 1999

**Autor:** Obeling, Poulsen

**Journal:** Noise Health

**Land:** Dänemark

**Untersuchte Stichprobe:**

57 Musiker aus vier dänischen Orchestern; 26 Frauen und 31 Männer im Alter zwischen 22 und 65 Jahren

**Expositionsdauer:**

- Schallpegelmessungen während Proben und Konzerten an verschiedenen Instrumentengruppen
- die Mikrophone standen nah am Ohr der Musiker (10 cm)
- Dosimeter trugen ausgewählte Orchestermitglieder

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben

**Ergebnisse:**

- das Durchschnittsaudiogramm fällt in den höheren Frequenzen ab, ähnlich einem Altershörverlust
- die alterskorrigierten Audiogramme nach ISO 7029 zeigen keinen Hörverlust
- Auch verglichen mit den Audiogrammen der ISO 1999, in der die Berufsjahre, die Spieldauer pro Woche und der Durchschnittsschallpegel berücksichtigt werden, waren die hier gemessenen Audiogramme besser.

- 4 Bratscherinnen, die normalerweise vor den Blechbläsern sitzen, hatten einen leichten Hörverlust bei 6 kHz und 8 kHz
- 3 Schlagzeuger hatten eine Senke auf dem linken Ohr

**Fazit:**

- erhobene Befunde: Audiogramm, Interview über Arbeitserfahrungen, Freizeitbeschäftigungen, Arbeitszeiten, Militärdienst
- insgesamt begrenztes Datenmaterial; keine systematische oder repräsentative Selektion der Probanden
- Ausschluss von Probanden bei Exposition von zu lautem nicht musikalisch bedingtem Lärm und bekannten Ohrproblemen
- Durchführung des Audiogrammes in einem ruhigen Raum neben der Konzerthalle
- Gemäß der gefundenen Ergebnisse können Musiker nicht durch das Spielen im Orchester einen Hörverlust erleiden.

**Jahr:** 1999**Autor:** Pree-Candido & Körpert**Journal:** Allgemeine Unfallversicherungsanstalt AUVA**Land:** Österreich**Untersuchte Stichprobe:** Musikschule, Orchester**Expositionsdauer:**

- Musiklehrer: 40,2 h/w, Musiker: 36,5 h/w
- passiver Musikkonsum in Freizeit: 6,9 h bzw. 5,2 h
- Üben zuhause: 8 h bzw. 9,2 h

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Messung an Musikschule während 20 Minuten am Platz des Musiklehrers
- mittlere A-bewertete Schalldruckpegel während Musikunterricht bis 95,5 dB, bei Orchestern bis 105 dB

**Ergebnisse:**

- bei gleichen Instrumenten werden im Orchester wesentlich höhere Pegel als im Musikunterricht erreicht
- Eruiierung folgender Daten: Problembewusstsein, bisherige Erfahrungen mit Gehörschutz, erlebte Belastungen, Erwartungen und Befürchtungen sowohl hinsichtlich des Produkts als auch hinsichtlich des sozialen Umfeldes, Beurteilung des getesteten Gehörschutzes
- die größten Höreinbußen bei 4 und 6 kHz
- die mittlere Zunahme des Hörverlustes in den Frequenzen 3 kHz und 4 kHz ist bei den Musikern deutlich höher als bei der gleichaltrigen, hörgesunden nicht lärmexponierten Bevölkerung
- bei vergleichbarer Lärmexposition ist das Gehör von Frauen resistenter als jenes von Männern
- 86 % der Befragten gaben an, eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Geräuschen entwickelt zu haben
- 60,3 % der Musiker fühlten sich durch andere Instrumente im Orchester gestört, vor allem durch Schlagwerk und Blechbläser

**Fazit:**

- Datenerhebung anhand von halb strukturierten Interviews und durch drei Fragebögen
- Audiogramme und Lärmpegelmessungen wurden am Anfang durchgeführt.
- Ein zweiter Fragebogen nach einem Monat Tragezeit des Gehörschutzes und ein dritter Fragebogen nach 1-1,5 jähriger Verwendungszeit wurden ebenfalls ausgewertet.
- Erhebung folgender Daten: Problembewusstsein, bisherige Erfahrungen mit Gehörschutz, erlebte Belastungen, Erwartungen und Befürchtungen sowohl hinsichtlich des Produkts als auch hinsichtlich des sozialen Umfeldes, Beurteilung des getesteten Gehörschutzes.
- Der getestete Gehörschutz wurde den speziellen Anforderungen der Musiker vor allem im Hinblick auf die Erhaltung der Klangqualität als auch beim Zusammenspiel im Orchester weitgehend nicht gerecht.

**Jahr:** 2000**Autor:** Wegner, Wendlandt et al.**Journal:** Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.**Land:** Deutschland**Untersuchte Stichprobe:**

40 von 127 Mitgliedern eines Symphonie- und Opernorchesters; 26 Männer (mittl. Alter: 44,3 J.) und 14 Frauen (35,7 J.)

**Expositionsdauer:** 30 h/Woche**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- gemessen wurde während der Aufführungen im Orchestergraben stationär in Ohrhöhe in ca. 40 cm Entfernung von dem jeweiligen Probanden insgesamt 37mal
- äquivalente Dauerschallpegel von 83,0 bis 94,1 dB(A)
- Maximalpegel: 97-112 dB(A)
- bei 7 Messungen erhielt man Werte zwischen max. 110 und 112 dB(A)
- auch bei den Streichern wurden Mittelungspegel deutlich oberhalb von 90 dB(A) gemessen
- Dauerschallpegel lagen zu mehr als 90 % oberhalb von 85 dB(A) und knapp 40 % oberhalb von 90 dB(A).

**Ergebnisse:**

- Ziel der Studie: Überprüfung der Wirksamkeit von angepassten Gehörschutzstöpseln (ER 15) bei Orchestermitgliedern und Akzeptanzrate für diesen Gehörschutz
- Im Mittel überschritt die Knochenleitungshörschwelle nicht den Altershörverlust.
- bei Bläsern ergaben sich um im Mittel 4 dB(A) höhere Schallpegel als bei den Streichern, was ein mehr als doppelt so hoher physikalisch wirksamer Schalldruck ist
- Die Mehrzahl der Probanden hatte während des Tragens des Gehörschutzes erhebliche Schwierigkeiten mit dem eigenen Spiel und dem Zusammenspiel.

- Nach Spielen ohne Gehörschutz fanden sich ausgeprägtere Abweichungen der Hörschwellenkurve als nach Einsatz mit Gehörschutz. Die Differenz überschritt 3 dB.
- von den 34 untersuchten Probanden klagten 6 (18 %) über Tinnitus, 4 (12 %) hatten einen Hörsturz, 5 (15 %) eine Otitis media, sie wurden deshalb aber nicht von der Studie ausgeschlossen
- Reintonaudiometrisch ergab sich ein alterskorrigierte Knochenleitungshörverlust von > 20 dB bei 4 kHz nur bei einer Person, Streicherin, sie hatte aber zuvor einen Hörsturz.
- Bläser wiesen stärkere Hörverluste auf als Streicher.

**Fazit:**

- Ergebnisse der audiometrischen Untersuchungen belegen die Wirksamkeit des eingesetzten Gehörschutzes, er ist aber nicht generell einsetzbar und wird von den Musikern nur schlecht akzeptiert.
- Gehörschäden sind möglich, vor allem bei Bläsern.
- Es ergab sich ein ausgeprägter präventiver Effekt des Gehörschutzes auf das linke Ohr.
- Während der audiometrischen Grunduntersuchungen waren die Hörschwellenkurven unauffällig, die Knochenleitungshörschwelle lag sogar deutlich oberhalb der für das Kollektiv errechneten Alterskorrektur nach Schmidt (1967).

**Jahr:** 2001**Autor:** Kähari, Axelsson, Hellström und Zachau**Journal:** Scand Audiol**Land:** Schweden**Untersuchte Stichprobe:**

140 von 178 Orchestermusiker (79 %) eines Opern- und eines Symphonieorchesters; 98 männl. Musiker (mittleres Alter: 42 Jahre) und 42 weibl. Musiker (mittleres Alter 37 Jahre)

Das mittlere Alter der Musiker, die nicht teilgenommen haben, war 39 Jahre.

**Expositionsdauer:** keine Angaben**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben**Ergebnisse:**

- Es zeigte sich kein ernstzunehmender Hörverlust, der auf die Exposition im Orchester zurückzuführen wäre.
- Weibliche Musiker hatten ein signifikant besseres Gehör im hohen Frequenzbereich als die männl. Musiker, was einerseits daran liegen könnte, dass die männl. Musiker im Schnitt fünf Jahre älter waren und dass mehr männl. Musiker die lauten Instrumente wie Holz, Blech und Schlagzeug spielten.
- Die weiblichen Musiker waren alle innerhalb des 20 dB HL.
- Die mittlere Reintonhörschwelle der männl. Musiker hatte eine Senke bei 6 kHz auf dem linken Ohr, ähnlich eines lärminduzierten Hörverlustes.
- Ein kleiner Unterschied ergab sich zwischen den einzelnen Instrumentengruppen.
- Schlagzeuger und Holzbläser hatten ein etwas schlechteres Gehör als andere Musiker, Schlagzeuger hatten dabei das schlechteste, was aber keinem statistischen Vergleich standhält, da nur 6 Schlagzeuger getestet wurden.
- Musiker großer Streichinstrumente hatten das beste Gehör.
- Im Vergleich zu einer normalen Bevölkerung nach ISO 7029 waren nur 3 % der 84 weiblichen Ohren außerhalb der 90. Perzentile und alle waren jünger als 32 Jahre alt.
- Die Instrumentengruppen, die die 90. Perzentile verließen, waren 7 kleine Streicher, 3 Holzbläser, 2 Blechbläser und 1 Schlagzeuger.
- Im Vergleich zur Axelsson-Lindgren-Studie der gleichen Orchester wurde hier ein signifikant besseres Gehör der weiblichen Musiker gefunden.
- Die schlechtesten Audiogramme gab es in den Altersgruppen ab 50 Jahre, wobei dort der Presbykusiseffekt nicht zu unterschätzen ist.

**Fazit:**

- Erhobene Befunde: HNO-Otoskopie, Tympanometrie, Audiogramm unter Angabe des Audiometers.
- Durchführung der Audiogramme in einer Hörprüfkabine möglichst an einem freien Tag oder vor musikalischer Exposition
- es waren vor allem große Streicher und Schlagzeuger, die nicht an der Studie teilnahmen

**Jahr:** 2001**Autor:** Kähari, Axelsson, Hellström, Zachau**Journal:** Scand Audiol**Land:** Schweden**Untersuchte Stichprobe:**

Folgestudie der 1981/82 veröffentlichten Studie von Axelsson und Lindgren:

56 von 69 (81 %) noch aktiven klassischen Musiker; 13 weibl. (mittleres Alter: 30 Jahre bei Studie A, 46 Jahre bei Studie B) und 43 männl. (mittleres Alter: 34 J. bei Studie A, 50 J. bei Studie B)

**Expositionsdauer:** keine Angaben**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben**Ergebnisse:**

- die männl. Musiker zeigten einen Hörverlust in den oberen Frequenzen, am meisten im linken Ohr
- das mittlere weibliche Audiogramm zeigte eine Senke bei 6 kHz
- verglichen mit der ISO 7029 waren die weibl. Musiker alle innerhalb der 90. Perzentile
- Es zeigte sich kein negatives Voranschreiten der Hörschwellenkurven nach einem Zeitraum von 16 Jahren musikalischer

**Lärmexposition.**

- Bei den weibl. Musikern zeigte das mediane Audiogramm eine Senke bei 6 kHz im linken Ohr in Studie A und in beiden Ohren in Studie B.
- Bei den männl. Musikern zeigte das mediane Audiogramm eine Senke des linken Ohres bei 6 kHz in Studie A und einen Schrägabfall der Hörkurve mit einem Maximum bei 6 und 8 kHz in Studie B.
- Die männl. Musiker zeigten einen etwas größeren, nicht signifikanten Hörverlust als die weibl. Musiker bei 4,6 und 8 kHz bds..
- Die männl. Musiker verschlechterten sich um 0,7 dB/Jahr und die weibl. um 0,4 dB/Jahr.
- Beide Geschlechter zeigten keine große Hörreduktion während der 16 Jahre im Vergleich mit ISO 7029.
- 11 Fälle fielen außerhalb der 90. Perzentile: 4 Fagottisten, 4 kleine Streicher, 2 Blechbläser und ein Schlagzeuger; bei diesen 11 Fällen war in 7 das linke Ohr schlechter als das rechte.
- Die mediane Hörverschlechterung fällt nur moderat aus, wenn man eine progressive Hörverschlechterung mit > 3 dB/Jahr definiert.

**Fazit:**

- Erhebung folgender Befunde: Otoskopie, Tympanometrie, Audiogramm unter Angabe des Audiometers und in einer Hörprüfkabine
- Durchführung der Audiogramme an freien Tagen oder vor Musikexposition
- Verglichen wurden die Ergebnisse mit ISO 7029.
- Nicht mit einbezogen wurden Faktoren wie Genetik, Prädisposition, Freizeitlärm, Stressfaktoren und Presbyakusis.

**Jahr:** 2003**Autor:** Kähari, Zachau, Ekklöf, Sandsjö, Möller**Journal:** Int J Audiology**Land:** Schweden**Untersuchte Stichprobe:**

139 von 230 (60 %) Rock-/Jazz Musiker; 43 weibl. und 96 männl.; das mittlere Alter der Frauen war 35 J. und der Männer 37 J.

**Expositionsdauer:**

- Definition der wenig expositionierten Gruppe (39 Musiker): 3 Tage oder weniger/Woche und 4,5 h oder weniger/Arbeitstag = im Durchschnitt eine Exposition von 3 h/Woche
- Definition der hoch expositionierten Gruppe (51 Musiker): 3,5-7 Tage/Woche und für mind. 5 h /Tag = 32,5 h/Woche
- Die durchschnittliche Berufsdauer lag bei 19 Jahren, die durchschnittliche Expositionszeit lag bei 4 Tagen/Woche und 5 h/Tag.

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Schallpegelmessungen wurden sowohl bei den Musikern anhand von Dosimetern durchgeführt als auch bei den Zuhörern, jeweils direkt unter dem Ohr.
- Die Schallpegelmessungen überschritten bei allen Messungen bei den Musikern die vorgeschriebenen Pegel.
- Die Messungen bei den Zuhörern waren nicht so hoch überschritten, lagen aber auch bei 50 % der Messungen auch über den Levels.

**Ergebnisse:**

- Die Frauen zeigten ein beidseitiges besseres Gehör als die Männer.
- Bei den Frauen wurde kein signifikanter Unterschied zwischen dem rechten und linken Ohr gefunden.
- Die Männer zeigten ein signifikant schlechteres linkes Ohr bei den Frequenzen 0.25,1.5,2,3 und 4 kHz und ein schlechteres rechtes Ohr bei 1 kHz.
- Zehn Männer hatten einen Hörverlust, fünf einen Tinnitus und fünf eine Hyperakusis.
- Drei männl. Musiker litten an allen fünf Hörstörungen. Jeder von ihnen war schon mind. 22 Jahre im Beruf. Ihre momentane Exposition war 5 Tage die Woche, 9 h/Tag. Alle spielten Trommel und zwei von ihnen noch zusätzlich Saxophon. Zwei von ihnen benutzten immer Kopfhörer.
- In der niedrigexpositionierten Gruppe hatten 28 (72 %) Musiker mehr als eine Hörstörung, 10 Frauen und 18 Männer.
- In der hochexpositionierten Gruppe hatten 34 (67 %) Musiker mehr als eine Hörstörung, 12 Frauen und 18 Männer.
- Ein signifikant schlechteres Gehör wurde in der niedrigexpositionierten Gruppe bei 4 kHz auf dem rechten Ohr gefunden.
- Im Vergleich mit den Referenzwerten der ISO 7029 fielen 22 (23 %) Männer außerhalb der 90. Perzentile; 11 von ihnen waren Streicher, 4 waren Diskjockeys, 3 waren Schlagzeuger, 1 Tontechniker, 1 Bläser, 1 Keyboarder und 1 Sänger.
- Tinnitus wurde in 43 % der Musiker gefunden, Hyperakusis in 39%.
- Frauen hatten signifikant mehr Hyperakusis und kombiniert Hyperakusis mit Tinnitus als die Männer.
- Die Männer hatten signifikant mehr Hörverluste und kombiniert Hörverlust mit Tinnitus als die Frauen.
- Signifikant schlechteres Gehör auf dem linken Ohr fand man bei den männl. Musikern.
- es zeigte sich insgesamt eine signifikant höhere Anzahl an Hörstörungen bei den Musikern als bei der Referenzgruppe
- 74 % der Musiker wiesen eine Hörstörung auf. Hörverlust, Tinnitus und Hyperakusis waren die häufigsten Probleme.

**Fazit:**

- Definition der Hörstörungen: Hörverlust, Tinnitus, Hyperakusis, Distorsion und Diplacusis.
- Aufnahmekriterien: Alter über 25 Jahre, mindestens 5 Jahre Berufsausübung, Livemusiker, keine anderen Hinweise auf einen Hörverlust außer durch laute Musik.
- erhobene Befunde: Audiogramm in Hörprüfkabine und Fragebogen
- Durchführung der Hörtests an freien Tagen oder nach einer Hörerholung von mind. 8 h
- Wenn ein Hörverlust festgestellt wurde, wurde eine Knochenleitung abgeleitet und eine Tympanometrie durchgeführt.
- Kriterien für einen Hörverlust: bei  $\geq 2$  Frequenzen  $\geq 25$  dB HL oder bei einer Frequenz  $\geq 30$  dB HL in  $\geq 1$  Ohr
- Als Referenzgruppe wurden die Daten der ISO 7029 genommen, für die Distorsions- und Diplacusisstörungen wurden keine Referenzgruppen gefunden.

**Jahr:** 2003

**Autor:** Laitinen, Toppila, Olkinuora, Kuisma

**Journal:** Applied Occupational and Environmental Hygiene

**Land:** Finnland

**Untersuchte Stichprobe:** Personal der finnischen Nationaloper: Orchester (65-88 Mitglieder), Chor (45-60 Mitglieder)

**Expositionsdauer:** durchschnittliche tägliche Arbeitszeit der Musiker: 5,5 h/Tag

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Schalldruckmessungen anhand von Dosimetern und fixen Messpunkten
- im Orchester wurden 87 Messungen genommen, im Chor 66 Messungen
- die Mikrophone wurden in der Mitte der rechten oder linken Schulter platziert
- Die fixen Messgeräte standen auf einer Höhe von 1m an repräsentativen Stellen auf der Bühne.
- Das technische Personal bekam Miniaturmikrophone in ihre Kopfhörer eingepflanzt.

**Ergebnisse:**

- Dirigenten, Tänzer und Kontrabassisten waren Levels unter 85 dB(A) ausgesetzt.
- Die Chormitglieder waren exponiert zu Soundlevels von 92-94 dB(A).
- Innerhalb des Orchesters fand man die lautesten Schallpegel bei den Schlagzeugern (95 dB(A)), bei den Flötisten (Piccolo) (95 dB(A)) und bei den Blechbläsern (92-94 dB(A)).
- Für den Proben-Pianist ergaben sich 95 dB(A), für die Solisten und den Tenor 97 dB(A) und für den Sopran 105 dB(A).
- Die Tänzer waren einem Schallpegel von 73-77 dB(A) ausgesetzt und die Lichtcrew unter den Kopfhörern 77-92 dB(A).
- Im Chor waren die Schalldruckpegel während individuellen Proben, die 13 % der Zeit ausmachen, höher als während Gruppenproben.
- Individuelle Proben sind eine signifikante Lärmquelle für die Chorsänger, die Schlagzeuger und die Holzbläser.
- Die meisten der Künstler tragen keinen Gehörschutz, 77 % haben noch nie einen während Einzelproben benutzt, manche benutzten ihn während Gruppenproben, 3 % tragen ihn immer.
- 19 % der Orchestermusiker und 41 % der Chorsänger berichteten, dass ihr Gehör bei der letzten Audiometrie schlecht gewesen sei.

**Fazit:**

- Es wurden nur Schalldruckmessungen vorgenommen.
- Individuelle Proben waren eine signifikante Lärmquelle für Chorsänger, Schlagzeuger und Holzbläser.

**Jahr:** 2003

**Autor:** Hohmann, Dupasquier, Billeter

**Journal:** Chronos-Verlag

**Land:** Schweiz

**Untersuchte Stichprobe:**

35 Musiker und 8 Musikerinnen im Alter zwischen 28 und 64 Jahren aus drei Berufsorchestern  
12 Berufssänger (drei pro Stimmlage)

**Expositionsdauer:**

35 h/w; bei Sängern effektive Singzeit von Hauptrollen beträgt maximal ein Drittel der Aufführungsdauer

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Integrierende Schallpegelmessgeräte (Kopfbügelmesstechnik) während fünf Proben und Konzerten an bis zu 17 Positionen in Ohrnähe der Musiker
- Die gesamten Dauerschallpegel betragen zwischen 85-95 dB(A)
- Mittelungspegel bei Sängern von 75 dB(A) – 109 dB(A), die höchsten Schallpegel bis zu 120 dB(A) bei Alt und Mezzosopran
- Dauerschallpegel aller Stimmlagen überschreiten den Grenzwert für die Gefährdung des Gehörs

**Ergebnisse:**

- die Langzeit-Schallbelastung ist bei allen Orchestermusikern gehörgefährdend
- eine begrenzte Entlastung erreicht man mit größeren Abständen zu den Blechbläsern

**Fazit:**

- erhobene Befunde: Schallpegelmessungen und Interviews über die musikalische Laufbahn, den Gebrauch von Dämpfern, die subjektiv empfundene Lautstärke, die Wahrnehmung anderer Orchesterinstrumente, Ruhezeiten, Freizeitverhalten, physische und psychische Belastungen sowie allfällige Gehörprobleme und die Verwendung von Gehörschutzmitteln
- Für jeden Musiker wurde die gesamte Gehörbelastung als langfristiger Dauerschallpegel  $L_{eq}$  bezogen auf 40 Arbeitsstunden pro Woche berechnet. Die Langzeit-Schallbelastung war bei allen Orchestermusikern gehörgefährdend.

**Jahr:** 2004

**Autor:** Behar, MacDonald, Lee, Cui, Kunov, Wong

**Journal:** J Occup Environ Hyg

**Land:** Kanada

**Untersuchte Stichprobe:** 18 Musiklehrer aus 15 verschiedenen Musikschulen

**Expositionsdauer:** keine Angabe

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

gemessen wurde anhand von Dosimetern, die einen ganzen „typischen“ Tag getragen wurden

**Ergebnisse:**

- Die gemessenen äquivalenten Dauerschallpegel überstiegen bei 14 Gelegenheiten (78 %) das 85 dB(A) Limit.
- Nur bei 4 Gelegenheiten waren die gemessenen Werte unter 85 dBA.
- Bei 7 Lehrern (39 %) überstieg der kalkulierte  $L_{ex}$  (bezogen auf einen 8h-Tag) das Limit von 85 dBA.
- Bei 11 Lehrern (61 %) lag es darunter.

**Fazit:**

Es konnte kein Unterschied zwischen verschiedenen Schulformen gesehen werden.

Es besteht ein potenzielles Risiko für Musiklehrer, einen Hörverlust durch ihre Arbeit zu erleiden.

**Jahr:** 2004,

**Autor:** Bray et al.

**Journal:** The Journal of Laryngology & Otology

**Untersuchte Stichprobe:** 23 Diskjockeys; 5 Frauen und 18 Männer zwischen 21 und 41 J.

**Expositionsdauer:** durchschnittliche Berufsausübung: 8 Jahre

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

- Schallpegelmessungen mit Dosimetern, die an der Tasche oder der Hose befestigt wurden, die Mikrophone saßen auf der Schulter der DJ's
- Schallpegelmessungen ergaben Lautstärken zwischen 79,8 und 107 dB(A), der Durchschnitt lag bei 103,2 dB(A) und die durchschnittliche Dauer lag bei 113 Minuten; der durchschnittliche  $L_{eq}$  betrug 96,1 dB(A)

**Ergebnisse:**

- 3 DJ's (13 %) zeigten einen lärminduzierten Hörverlust
- 4 DJ's (17 %) zeigten Zeichen einer frühen sensorineuralen Hörstörung
- 2 DJ's (9 %) hatten einen einseitigen Hörverlust, aber sie gaben auch eine Perforation im Trommelfell in der Kindheit an
- 14 DJ's (61 %) hatten ein normales Gehör
- der durchschnittliche Hörverlust betrug 20,5 dB
- 20 DJ's (87 %) waren informiert über das Risiko einer Hörstörung durch laute Musik, nur 3 Probanden (13 %) benutzen Gehörschutz während ihrer Arbeit
- die Mehrheit der Gruppe (16 DJ's, 70 %) hatten schon mal ein dumpfes Gehör, das bis zu 2 Tage anhält
- Über Tinnitus klagten 17 DJ's (74 %).
- 19 DJ's (83 %) besuchen Nightclubs in ihrer Freizeit und jeder zweite DJ hörte exzessiv Musik über Kopfhörer.
- Das durchschnittliche Alter und die durchschnittliche Berufsausübung der DJ's mit einem lärminduzierten Hörverlust waren 7 bzw. 8 Jahre höher.

**Fazit:**

- erhobene Befunde: HNO-ärztliche Untersuchung, Audiogramm mit Luft- und Knochenleitung, Stapediusreflex tympanometrie und Fragebogen über Ohrerkrankungen, Symptome, Exposition zu Lärm, Hörschäden und Prophylaxemaßnahmen
- zu kleine Anzahl an Probanden
- DJ's haben laut dieser Studie ein Risiko, einen lärminduzierten Hörverlust zu entwickeln und der Schallpegel in Nightclubs übersteigt Levels, die nicht gehörschädigend sind.

**Jahr:** 2004

**Autor:** Juman

**Journal:** Otolaryngol Head Neck Surg

**Untersuchte Stichprobe:** 29 Mitglieder, so genannte Pannists und 31 Freiwillige als Kontrollgruppe

**Expositionsdauer:** 6-8 h pro Tag über 3 Monate

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

Die Schallpegelmessungen ergaben Werte zwischen 99 und 110 dB(A).

**Ergebnisse:**

- Langzeitstudie über Steelband-Musiker
- kein Schalleitungshörschaden bei den Probanden der Kontrollgruppe
- signifikant mehr Steelpan-Spieler hatten einen Hörverlust bei 3000, 4000 und 6000 Hz
- Je länger der Musiker schon sein Instrument spielte, desto größer war der Hörverlust.
- in der Gruppe der unter 30-jährigen und in der Gruppe der 31- bis 40-Jährigen kein Unterschied im Hörvermögen zwischen Musikern und Kontrollpersonen; in der Gruppe der 40-Jährigen signifikanter Unterschied bei den hohen Frequenzen
- 6 der 9 (60 %) Schlagzeuger der Rhythmussektion der Band hatten einen Hörverlust, wohingegen nur 7 der 20 anderen Musiker einen Hörverlust aufwiesen
- Keiner der 7 Steelpannists, die weniger als 10 Jahre gespielt hatten, wies einen Hörverlust auf.
- 4 der 10 (40%) Musiker, die zwischen 10 und 19 Jahren bereits in einer Band waren, hatten einen Hörverlust und 9 von 12 (66 %), die länger als 20 Jahre dabei waren, ebenfalls.

**Fazit:**

- Ein normales Hörvermögen wurde definiert als ein Hörverlust von weniger als 20 dB, ein milder Hörverlust zwischen 20 und 35 dB, ein moderater zwischen 35 und 50 dB und ein gravierender bei mehr als 50 dB.

- Steelband-Musiker sind einem hohen Risiko ausgesetzt, einen Hörverlust durch ihre Musik zu erleiden.

**Jahr:** 2005

**Autor:** Laitinen



**Journal:** Noise & Health

**Land:** Finnland

**Untersuchte Stichprobe:**

5 große Orchester in der Region um Helsinki; 1 Militär-Brass-Band und 4 Symphonieorchester; 134 Männer und 62 Frauen

**Expositionsdauer:** 43 % der Musiker spielten schon seit über 20 Jahren in einem Profiorchester

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

Schallpegelmessungen überschritten alle das national empfohlene Level.

**Ergebnisse:**

- 94 % der Musiker waren wegen ihres Gehörs beunruhigt.
- nur 6 % der Musiker benutzten immer einen Gehörschutz
- 31 % der Frauen klagten über einen Hörverlust, 37 % über zeitweiligen Tinnitus, 15 % der Frauen und 18 % der Männer über permanenten Tinnitus, 43 % über Hyperakusis
- Gehörschutz wurde von mehr Musikern getragen, die Hörprobleme hatten (20 %) als von denen ohne Symptome (6 %).
- Stress wurde in 60 % der Fälle angegeben, Musiker mit Ohrproblemen waren 3-9mal mehr gestresst und empfanden ihr Berufsumfeld als lauter.

**Fazit:**

- Musiker benutzten selten Gehörschutz vor Beginn der Symptome.
- Sie haben eine hohe Prävalenz an Ohrsymptomen, wobei die Musiker der Brass-Band die meisten dauerhaften Tinnitusbeschwerden aufwiesen.

**Jahr:** 2005

**Autor:** Hagberg, Thiringer, Brandström

**Journal:** Int Arch Occup Environ Health

**Land:** Schweden

**Untersuchte Stichprobe:**

407 von 602 Musikstudenten (68 %); 218 Männer (Mittl. Alter: 35 J.) und 189 Frauen (mittl. Alter: 34 J.)

**Expositionsdauer:**

Mit 22 Jahren kamen alle im Mittel an die Universität, die meisten haben mit 8 Jahren begonnen zu spielen.

21-24 % (87-96 Musiker) hatten mehr geübt als 20 h/Woche

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben

**Ergebnisse:**

- Untersucht wurde anhand eines Fragebogens die Inzidenz von Tinnitus, Hörstörungen und muskuloskelettalen Beschwerden im Hinblick auf die Anzahl der Übungsstunden und/oder des Instrumententyps vor Beginn der Beschwerden.
- 96 Fälle von Tinnitus für 9079 Instrumentenjahre, d.h. eine Inzidenz von 10,6 pro 1000 Instrumentenjahre
- 60 Fälle von Hörverlust für 9187 Instrumentenjahre, d.h. eine Inzidenz von 6,5 pro 1000 Instrumentenjahre
- Inzidenz von 2,3-4,6 bei muskuloskelettalen Beschwerden
- 1,75mal höhere Inzidenz von Hörverlusten für Musiker mit mehr als 20 Übungsstunden/Woche
- 1,87mal höhere Inzidenz von Hörverlusten im Vergleich von Streichern mit Pianisten und Keyboardern
- 13 Musiker waren schon mal wegen Hörproblemen krankgeschrieben und 8 Musiker hatten aufgehört zu spielen

**Fazit:**

- Datenerhebung nur anhand eines Fragebogens
- das Studiendesign stellt eine retrospektive Kohortenstudie dar; dabei stellt sich das Problem der Recall-Bias
- Hoher Übeaufwand ist ein Risikofaktor für die Inzidenz von Hörverlusten.
- Ein hoher Übeaufwand und Spielen von Geige oder Bratsche sind Risikofaktoren für muskuloskelettale Beschwerden.
- Unter den muskuloskelettalen Beschwerden war die höchste Inzidenz für Schmerzen im Nacken und in der linken Schulter (4,4-4,6).

**Jahr:** 2005

**Autor:** Dupasquier

**Journal:** Universitäten Basel, Bern und Zürich

**Land:** Schweiz

**Untersuchte Stichprobe:** 307 Musiker aus 8 Berufsorchestern der deutschsprachigen Schweiz

**Expositionsdauer:** keine Angaben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** keine Angaben

**Ergebnisse:**

- 81 % der Musiker gaben guten bis hervorragenden physischen und 79 % einen ebensolchen psychischen Gesundheitszustand an
- Bläser schätzten ihren Gesundheitszustand besser ein als andere Instrumentengruppen
- jeder 7. habe Tinnitus, jeder 5. beklage eine dauernde Höreinbuße, jeder 4. leide an Lärmüberempfindlichkeit
- knapp 8 % haben eine Hörstörung
- jeder 3. Musiker empfindet das Spielen auf seinem Instrument sowie mit 28 % ein gelungenes Konzert als „Aufsteller“
- jeder 2. Musiker nennt einen schlechten Dirigenten ein „Ablöser“

**Fazit:**

- Die objektive Belastung der Musiker durch die hohen Schallpegel ist erwiesen.

- Das Gehör der meisten Musiker ist überdurchschnittlich gut, was an der schnelleren und präziseren Wahrnehmung von Tönen liegen könnte.

**Jahr:** 2005

**Autor:** Lee, Behar, Kunov, Wong

**Journal:** Applied Acoustics

**Untersuchte Stichprobe:** 67 Musiker

**Expositionsdauer:** keine Angaben

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:**

Die Messungen wurden während 18 Sessions durchgeführt, die Proben und Aufführungen beinhalteten.

73 Lärmexpositionen wurden gemessen, indem fünf Dosimeter über die gesamte Dauer jedes Events benutzt wurden.

**Ergebnisse:**

- keine Durchführung von Tonaudiogrammen, sondern lediglich Schallpegelmessungen anhand von Dosimetern
- Den ISO 1999 Standards folgend, indizieren die Ergebnisse, dass für Musiker im Orchestergraben kein Risiko für einen Hörverlust besteht.

**Fazit:**

Es konnten aufgrund der dosimetrischen Messergebnisse keine Schallpegel gemessen werden, die für Musiker im Orchestergraben Gehörschädigend sein könnten.

**Jahr:** 2006

**Autor:** Schmuziger, Patscheke, Probst

**Journal:** Ear and Hearing

**Untersuchte Stichprobe:** 42 Laienmusiker aus dem Pop-/Rockmusikbereich

**Expositionsdauer:** mindestens 5-jährige intensive Lärmexposition durch die Musik

**Ort und Ergebnis der Schalldruckmessung:** Es wurden keine Schallpegelmessungen durchgeführt.

**Ergebnisse:**

- Nach Miteinbezug von Alter und Geschlecht, relativ gesehen zur ISO 7029, lag die durchschnittliche Hörschwelle im Frequenzbereich von 3-8 kHz bei den Musikern bei 6 dB und in der Kontrollgruppe bei 1,5 dB.
- Ein signifikanter Unterschied ließ sich ebenso differenzieren bei Musikern, die regelmäßig einen Gehörschutz verwendeten (2,4 dB durchschnittliche Hörschwelle), verglichen mit der Gruppe, die nie einen Gehörschutz trug (8,2 dB durchschnittliche Hörschwelle).
- 11 Musiker (26 %) reagierten überempfindlich auf Lärm und 7 (17 %) wiesen bereits einen Tinnitus auf.

**Fazit:**

Laienmusiker im Pop-/Rockmusikbereich erlitten signifikant mehr Hörverluste als Musiker, die regelmäßig einen Gehörschutz trugen oder als eine nicht lärmexponierte Kontrollgruppe.

### **Danksagung**

Ich möchte mich als erstes bei meinem Doktorvater, Herrn Prof. Bernhard Richter, bedanken. Er war immer für mich ansprechbar und hat sich sehr gut und nett um mich gekümmert und mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden. Vielen Dank dafür.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, Gabriele und Norbert Holstein, die mich all die Jahre meines Studiums nicht nur in finanzieller Hinsicht unterstützt haben und es mir überhaupt ermöglicht haben, diese Doktorarbeit zu schreiben.

Außerdem danke ich meinem Freund, Stefan-Johannes Rümmele, der immer wieder Teile der Arbeit lesen und auf Fehler hin überprüfen musste.

Vielen Dank.