

# Vertäubung und Erholung des Gehörs nach energie-äquivalenter Beschallung durch Heavy-Metal-, Techno- und klassische Musik

Hartmut Irle, Frank Körner, Helmut Strasser

**Zusammenfassung** Zur Klärung der Frage, ob nach der Energie-Äquivalenz gleich beurteilte akustische Belastungen mit unterschiedlicher Frequenz- und Zeitstruktur zu gleichen oder doch verschiedenen Wirkungen führen und somit ein unterschiedliches Gefährdungspotenzial für das menschliche Gehör in sich bergen, wurden drei Arten von Musikbelastungen untersucht. Die jeweils 1 h lange Beschallung mit im Mittel 94 dB(A) entsprach einem Beurteilungspegel von 85 dB(A) über acht Stunden. Die auralen Wirkungen der Expositionen wurden anhand der maximalen Hörschwellenverschiebungen (TTS<sub>2</sub>) innerhalb 2 min nach Belastungsende und während des gesamten Restitutionsverlaufs bis zum Zeitpunkt des Wiedererreichens der Ruheschwelle gemessen. Ferner wurde mit der Fläche unter der Restitutionskurve, den Integrated Restitution Temporary Threshold Shifts (IRTTS), ein Summenwert der „physiologischen Kosten“ ermittelt. Die Belastung durch Techno-Musik führte zu vergleichbaren IRTTS-Werten wie Heavy Metal als Referenzbelastung. Allerdings war die maximale Höhe der Vertäubung (die TTS<sub>2</sub>) und der Erholungsverlauf durch eine völlig andere Charakteristik gekennzeichnet. Techno-Musik hatte zwar signifikant niedrigere TTS<sub>2</sub>-Werte zur Folge. Dieser positive Effekt wurde jedoch durch eine erhebliche Verlängerung der Restitutionszeit völlig aufgehoben. Hinsichtlich der klassischen Musik konnten die Ergebnisse früherer Studien bestätigt werden. Die physiologischen Kosten von klassischer Musik beliefen sich auch hier auf nur ein Viertel derjenigen von Heavy Metal, obwohl keiner der Probanden klassische Musik zu seiner Lieblingsmusikrichtung erklärt hatte. Das Risiko, langfristig mit einem Gehörschaden rechnen zu müssen, steigt, wenn das Gehör Tag für Tag Vertäubungen durch den Lärm im beruflichen Alltag erfährt und Freizeitlärm mit noch nicht völlig abgeklungenen Restitutionsprozessen koinzidiert. Die akustische Belastung bei Techno- und Heavy-Metal-Musik ist meist auch viel höher als die hier aus ethischen Gründen auf 94 dB/1 h limitierte Testbelastung. Übereinstimmend mit früheren Studien zeigte sich erneut, dass eine energie-äquivalente Beurteilung akustischer Belastungen fatale Fehleinschätzungen zur Folge haben kann.

**Schlüsselwörter** Musikbelastungen – TTS<sub>2</sub> – Restitution – physiologische Kosten

## 1 Einleitung und Problemstellung – Aufriss von Freizeit- und Musikschallbelastungen

Lärm beeinträchtigt in zunehmenden Maße alle Lebensbereiche des Menschen. Er tritt nicht nur am Arbeitsplatz oder als „akustische Umweltverschmutzung“ durch Straßen-, Schienen- und Luftverkehr auf, sondern verursacht zunehmend auch im Wohn- und Freizeitbereich Probleme. Die negativen Wirkungen reichen von der Lästigkeit über

Dr.-Ing. Hartmut Irle, Frank Körner, Prof. Dr. Helmut Strasser  
Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie  
Universität Siegen.

Eingang des überarbeiteten Manuskripts: 8. Februar 2005

## Hearing threshold shifts and their restitution as physiological responses to energy-equivalent exposures by heavy metal, techno, and classical music

**Summary** Three different kinds of music were utilized to address the question whether sound exposures with different frequency and time structures may have different effects after all, i.e., that they differ in their potential danger to the human hearing. The sound exposure of 94 dB(A) over 1 h, each, was equivalent to a rating level of 85 dB(A) for 8 hours. The exposures' aural effects were measured via the maximum hearing threshold shifts within 2 minutes after the end of the exposure (TTS<sub>2</sub>) and during the restitution course until the time t(0 dB) after which the resting hearing threshold was once again reached. Additionally, the area underneath the restitution curve, the Integrated Restitution Temporary Threshold Shifts (IRTTS), was determined as a summary measure of the "physiological costs." Techno music led to IRTTS-values which were comparable to those from heavy metal music as reference exposure, but the characteristics of the strain level and the restitution course were completely different. Techno music caused significantly lower TTS<sub>2</sub>-values. This positive effect, however, was completely negated by a substantially prolonged restitution time. With respect to classical music, the results of the previous study could be confirmed. Again, the physiological costs of classical music were only 1/4 of those from heavy metal music in this study even though none of the Ss had indicated classical music as their favorite kind of music. The risk of long-term hearing damage increases if the hearing experiences daily threshold shifts due to noise in the workplace which coincide with restitution processes which have not yet completely subsided. Furthermore, the acoustic stress from techno and heavy metal music is typically much higher than 94 dB/1 h, the limit in this test which was chosen for ethical reasons. Consistent with previous studies, it could once again be shown that an energy-equivalent rating of sound exposures can lead to dangerously wrong assessments.

**Key words** music exposures – TTS<sub>2</sub> – restitution – physiological costs

Kommunikationsstörungen und Leistungsbeeinträchtigungen bis zur Gehörschädigung und sind – neben der subjektiven Wertbeimessung – im Wesentlichen abhängig von der Intensität, der Frequenzzusammensetzung und der Einwirkdauer der Schallereignisse, aber auch dem zeitlichen Verlauf des Schallpegels (vgl. [1]).

Lärm ist nicht zuletzt deshalb so sehr zu einem Problem geworden, weil das Gehör – von Natur aus stets auf „Horchposten“ – normalerweise den akustischen Belastungen ungeschützt exponiert ist. Daher besteht die Notwendigkeit, die physiologischen Eigengesetzlichkeiten und Reaktionen des Menschen zu beachten, wenn nicht für immer größer werdende Bevölkerungsgruppen zunehmende Gesundheitsrisiken oder sogar Gesundheitsschäden in Kauf genommen werden sollen. Unter den beruflichen Gesundheitsschäden steht die Lärmschwerhörigkeit (als energetische Überlastung des Innenohrs) nach wie vor an erster Stelle. Neben

Schädigungen durch Dauerlärm muss auch mit akuten Traumata durch Pegel bereits oberhalb 120 dB (vor allem nach Knallbelastungen) gerechnet werden.

Für den Arbeitsbereich wurden entsprechende Schutzbestimmungen geschaffen, wie z. B. die Arbeitsstättenverordnung [2] oder die UVV-Lärm [3], da immerhin etwa 5 Mio. Arbeitnehmer in der Bundesrepublik Deutschland gesundheitsschädlichem, insbesondere gehörgefährdendem Lärm von mehr als 85 dB(A) Beurteilungspegel ausgesetzt sind. Die in Lärmschutzbestimmungen verbindlich vorgeschriebenen Expositionsgrenzwerte wurden jedoch unter der Voraussetzung von „Gehör-Erholungsphasen“ festgelegt. Wenn aber auch Schallexpositionen in der Freizeit vorliegen, können diese eine erhebliche zusätzliche Gehörgefährdung darstellen. Zieht man also in Betracht, dass sich Schallbelastungen in Beruf und Freizeit oft überlagern, muss von einem erhöhten Gehörgefährdungspotenzial ausgegangen werden. Schallbelastungen in der Freizeit behindern zumindest die Restitution der durch Arbeitslärm verursachten Vertäubungen, wobei, wie von *Irlé* et al. [4] gezeigt werden konnte, selbst energetisch irrelevante Pegel von 70 dB die Rückwanderung einer durch einen höheren Pegel ausgelösten Hörschwellenverschiebung drastisch verzögern.

Infolge von Freizeitaktivitäten, wie Konzert- und Diskothekenbesuchen oder Musikkonsum über Kopfhörer, werden aber auch u. a. nach *Ising* [5] derart hohe Pegel am Ohr verursacht, dass das Gehör direkt gefährdet ist. Viele Jugendliche, aber auch Erwachsene verbringen einen erheblichen Teil ihrer Freizeit mit dem Hören von Musik. Die Belastung mit hohen Schallpegeln erfolgt zu Hause oder im Auto über leistungsfähige Stereoanlagen, auf dem Schul- und Arbeitsweg oder in Pausen über Walkman, vor allem aber durch das große Angebot an Musikveranstaltungen in Diskotheken, auf Techno-Partys oder Lifekonzerten und während Festivals, wobei sich mit den Jahren der „Musikgeschmack“ erheblich verändert hat.

Schallpegelmessungen, die 1988 in 29 Berliner Diskotheken auf der Tanzfläche verdeckt durchgeführt wurden, ergaben zeitliche Mittelungspegel zwischen 92 dB(A) und 110 dB(A). Messungen in den Jahren 1994 und 1997 – in jeweils 14 Berliner Diskotheken – ergaben fast identische Musikschallpegel, die zwischen 89 dB(A) und 110 dB(A) lagen. Die energetisch gemittelten Werte ( $L_m$ ) betragen 102,3 dB(A) bzw. 102,1 dB(A). Nach den in [6] dargestellten Messergebnissen wurde im Laufe einer Nacht mit zunehmender Besucherzahl zudem ein Anstieg der Musikpegel um ca. 2 dB(A)/h festgestellt. Das deckt sich mit Angaben anderer Autoren, die ebenfalls Messungen in Diskotheken durchführten und Musikschallpegel zwischen 90 dB(A) und 110 dB(A) ermittelten (vgl. [7 bis 9]). Über die Jahre hinweg ließ sich trotz warnender Stimmen kein Trend zu niedrigeren Musikschallpegeln beobachten. Weiterhin belegen die Ergebnisse verschiedener Studien, dass auch die Häufigkeit und die Aufenthaltsdauer bei Diskothekenbesuchen zunimmt (vgl. z.B. [10 bis 12]). 10 bis 15 % von befragten Jugendlichen gaben an, dass sie regelmäßig an ein bis zwei Tagen in der Woche jeweils bis zu sechs Stunden und mehr eine Diskothek besuchen. Studien, die sich mit Musikschall bei Kopfhörerbenutzung beschäftigten, ergaben, dass ca. 10 % der Befragten 100 dB(A) und mehr als Wunschpegel einstellten und eine Tragedauer von mindestens drei Stunden am Tag wählten (vgl. z. B. [8; 13; 14]). Für Musikgroßveranstaltungen ermittelten beispielsweise *Bickerdike* und *Gregory* [10] Pegel bis zu 119 dB(A). *Axelsson* [7] hatte immerhin auch Pegel im Bereich von

97 dB(A) bis 110 dB(A) gemessen. Untersuchungen von *Körpert* [15] und *Borchgrevink* [16] belegen, dass im Laufe der Zeit bei Jugendlichen, die noch nie in Lärmbereichen tätig waren, ein Anstieg von Fällen mit nachweisbaren, irreversiblen Innenohrschäden zu beobachten ist. Als Ursache dieser insbesondere bei arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen festgestellten Befunde werden Schallwirkungen in der Freizeit vermutet. Gewiss kann dieser Trend nicht allein auf die weite Verbreitung elektronisch verstärkter Musik zurückgeführt werden, da Beanspruchungsfolgen wegen sehr lauter Kinderspielzeuge oder Feuerwerkskörper auch dazu beigetragen haben können. Die Untersuchungen zu den Beschallungsgewohnheiten von Jugendlichen zeigen jedoch, dass jeweils ca. 10 % von ihnen, hinsichtlich des Gehörschadensrisikos durch laute Musik in Diskotheken oder bei Kopfhörerbeschallung, als Risikogruppe zu betrachten sind. Grundsätzlich ist zu beachten, dass aufgrund vielfältiger zusätzlicher Expositionen, beispielsweise infolge der Kombination von Diskothekenbesuchen und Kopfhörerbeschallung, lauter Musik im Auto, auf Konzerten oder einem lärmintensiven Hobby (Schießsport, Heimwerken u. v. m.), der Anteil gefährdeter Personen höher sein dürfte. Die Ergebnisse einer von *Jansen* et al. [17] an 1814 jungen Männern im Alter zwischen 16 und 24 Jahren durchgeführten Studie zeigen, dass 24 % der untersuchten Personen bereits von einer deutlich messbaren Gehörbeeinträchtigung im für das Sprachverständnis besonders wichtigen Frequenzbereich zwischen 3 und 6 kHz betroffen waren.

Höreinbußen im Zusammenhang mit außerberuflichem Lärm, d. h. im sozialen Umfeld, werden – in Analogie zur „Presbyakusis“, der altersbegleitenden Schwerhörigkeit – mit dem Begriff „Soziakusis“ umschrieben. Die Bundesärztekammer [18], das Umweltbundesamt [19] und verschiedene Autoren (vgl. [20; 21]) weisen ausdrücklich darauf hin, dass Soziakusis in den nächsten Jahren zu einem schwerwiegenden Gesundheitsproblem werden können, und fordern daher einerseits Initiativen, um die Musikschallpegel in Diskotheken, Konzerten und bei tragbaren Musikwiedergabegeräten zu reduzieren. Andererseits soll eine umfassende Aufklärung der Bevölkerung über die Risiken von Hörschäden infolge lauter Musik erfolgen.

Im europäischen Ausland hat sich die Situation bereits geändert. In der Schweiz trat eine Verordnung zum Schutz des Publikums vor gesundheitsgefährdenden Schalleinwirkungen in Kraft, wonach bei Veranstaltungen mit elektronisch verstärkter Musik der Schallmissionsgrenzwert von 95 dB(A) einzuhalten ist. Die Behörden können allerdings auf Antrag einen Mittelungspegel von maximal 100 dB(A) bewilligen, wenn die Forderung besonders begründet wird. In Frankreich ist eine Pegelbegrenzung für tragbare elektronische Musikwiedergabegeräte seit 1996 gesetzlich vorgesehen, wobei allerdings noch keine festen Grenzwerte existieren. Ähnlich den Regelungen in der Schweiz und Frankreich bedürfte es natürlich auch in Deutschland gesetzlich vorgeschriebener Pegelbegrenzungen. Dabei gilt es, den Schutz der erwachsenen Bevölkerung sowie insbesondere den von Kindern und Jugendlichen zu realisieren. Das Jugendschutzgesetz besagt in § 1 Satz 1, dass die zuständigen Behörden oder Stellen die zur Abwendung von Gefahr für das körperliche Wohl erforderlichen Maßnahmen zu treffen haben. Folgende Pegelbegrenzungen lassen sich somit begründen (vgl. u. a. [21]) und sollten umgesetzt werden:

- In Diskotheken Begrenzung des Dauerschallpegels auf 90 bis 95 dB(A), bezogen auf den lautesten Bereich der Veranstaltungsorte gemäß DIN 15905 Teil 5 [22].

- Für tragbare Musikwiedergabegeräte mit Kopfhörern Begrenzung des Dauerschallpegels auf 90 dB(A) gemäß Empfehlung des Ad-hoc-Arbeitskreises „Begrenzung des Schalldruckpegels bei Verwendung von Kopfhörern“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE.

Durch eine umfangreiche Aufklärungskampagne sollte sowohl den Jugendlichen als auch den Betreibern von Diskotheken und den Konzertveranstaltern klargemacht werden, dass man Musik auch mit weniger Dezibel genießen kann. Befragungen von Jugendlichen in der Schweiz nach Einführung der o. g. Pegelbegrenzung (vgl. [23]) sowie in Deutschland bei Verwendung eines pegelbegrenzten Musikabspielgerätes (vgl. [14]) belegen, dass Pegelbegrenzungen i. d. R. mit hoher Akzeptanz angenommen werden. In beiden Fällen waren nur ca. 5 % der Jugendlichen mit der reduzierten Lautstärke unzufrieden. Die Hälfte der befragten Diskobesucher in der Schweiz empfand die Musik trotz der Reduzierung immer noch als zu laut. In Deutschland wären sogar 92 % der befragten Jugendlichen mit einer Pegelbegrenzung einverstanden.

Abgesehen von der freiwillig gewählten Musikbelastung sind viele Berufsmusiker, die oft täglich mit ihren Bands, Kapellen und Orchestern proben oder Konzerte geben, hohen Schallbelastungen ausgesetzt. Aber auch das Personal der Diskotheken, das sich regelmäßig hohen Musikschallpegeln aussetzen hat, ist gefährdet.

Da klassische Musik i. d. R. nicht so laut und nicht so lange gehört wird wie z. B. Diskomusik, kann für das Publikum von klassischer Musik von einem wesentlich geringeren Gehörschadensrisiko ausgegangen werden. Trotzdem darf auch diese Schallbelastung nicht verharmlost werden. Berufsmusiker, die täglich bis zu acht Stunden musizieren, setzen sich durchaus auch gefährdenden Schallbelastungen aus. Das schöngeistige Argument, Musik sei kein Lärm und könne dementsprechend kaum zu Schädigungen führen, kann bezüglich der akustischen Belastung von Orchestermusikern nicht aufrechterhalten werden. Eine Studie von *Marquard* und *Schäcke* [24], die einen Überblick über in der Literatur beschriebene Schalldruckpegel enthält, kommt zu dem Ergebnis, dass die von den Autoren angegebenen Mittelungspegel für Orchestermusik zumindest für einzelne Gruppen oberhalb des Beurteilungspegels von 85 dB (A) liegen [s. a. 25 bis 27]. Aufgrund dessen ist die Frage gerechtfertigt, inwieweit die Möglichkeit besteht, die für den gewerblichen Bereich bestehenden Regelungen zur Prävention berufsbedingter Hörminderungen auch in geeigneter Weise auf Musikproduzierende und Musikkonsumenten anzuwenden. Der Gebrauch persönlicher Gehörschutzmittel ist dank neuerer technischer Entwicklungen (mit angenähert linearer Dämmung über das gesamte Frequenzspektrum) zwar für den Musiker ohne zwingend berufsbehindernde Einbußen möglich geworden. Die Akzeptanz lässt aber, wie *Wegner* et al. [28] zeigen, nach wie vor sehr zu wünschen übrig. Oftmals können auch Gehörschutzmittel nicht halten, was sie versprechen.

## 2 Methodik experimenteller Untersuchungen und Testdesign

Der oben umrissenen Problematik zufolge, dass auch Musik für langfristige aurale Folgen verantwortlich gemacht werden muss, sollten in einer kontrollierten Laborstudie die

reversiblen kurzfristigen Effekte unterschiedlicher akustischer Belastungen durch verschiedene Musikrichtungen auf das Gehör untersucht werden, zumal es dazu bislang kaum experimentelle Befunde gibt. Insbesondere ist – abgesehen von einer Studie [29] – nicht bekannt, wie das Gehör auf unterschiedliche Musikrichtungen reagiert.

Generell werden in der Praxis Schallbelastungen nach dem Energie-Schadens-Äquivalenz-Prinzip beurteilt (vgl. [30]). Dieses Prinzip geht von der Dosismaxime aus, wonach die gesundheitlichen Folgen einer Belastung nur von der Dosis, d. h. dem Produkt aus Intensität und Einwirkdauer, abhängt. Dass dabei physikalische und physiologische Paradigmen nicht miteinander vereinbar sind, ist in [31] ausführlich dargestellt. Nach der Dosismaxime müssten energie-äquivalente Schallbelastungen eigentlich vergleichbare Gehörschadungen hervorrufen, wenn sie – nach dem Überschreiten eines kritischen Schwellenwerts – zu physiologischen Reaktionen führen. Dabei wird aber nur der Einfluss des Schallpegels und der Einwirkdauer auf die Energie-Äquivalenz einer Tagesbelastung berücksichtigt. Der auf einen Beurteilungspegel von  $L_{Aeq, 8h} = 85$  dB(A) festgelegte kritische Schwellenwert für akustische Belastungen lässt bei Mittelung bzw. Extrapolation sogar Spitzenpegel von bis zu 140 dB für das ungeschützte Ohr zu. Wie bereits vorausgegangene Studien aufzeigten (vgl. 4; 32), kann das Energie-Schadens-Äquivalenz-Prinzip durch Messungen der spezifischen auralen Wirkungen von Schallbelastungen nicht bestätigt werden. Der bei der energie-äquivalenten Mittelung nicht berücksichtigte Einfluss der Pegel- und Zeitstruktur der Schallbelastung wirkt sich jedoch sehr wohl auf die „physiologischen Kosten“ aus, die das menschliche Gehör für die akustische Belastung zu „bezahlen“ hat. Das konnte auch bereits in einer vergleichenden Studie für Industrielärm und klassische Musik gezeigt werden, wobei die Summe der Hörschwellenverschiebungen nach der energie-äquivalenten Musikschallbelastung nur einen Bruchteil dessen ausmachte, was durch Industrielärm verursacht wurde (vgl. [33]).

Um die akuten gehörphysiologischen Effekte energetisch gleicher, hinsichtlich Zeit- und Pegelstruktur aber unterschiedlicher Musikschallbelastungen untersuchen zu können und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit früheren Studien sicherzustellen, wurden drei verschiedene Expositionen mit einem Mittelungspegel  $L_m$  von jeweils 94 dB(A) über eine Expositionszeit von einer Stunde für Vertäubungsuntersuchungen geschaffen. Sie entsprachen nach der 3-dB-Regel (bzw. bei Anwendung des Halbierungsparameters  $q = 3$ ) einem Beurteilungspegel  $L_{Ard}$  von 85 dB/8 h. Da auch die maximalen unbewerteten Spitzenpegel  $L_{peak}$  mit maximal 124,6 dB deutlich unter dem ohne Gehörschutz zulässigen Spitzenpegel von 140 dB lagen, waren alle Versuchsbelastungen für Testpersonen ethisch durchaus noch vertretbar.

In der VR 1 (vgl. **Bild 1**) handelte es sich um eine Schallkammer aus typischer Heavy-Metal-Musik. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse dieser Studie mit bereits durchgeführten Untersuchungen [29] zu gewährleisten, wurde die gleiche Heavy-Metal-Musik verwendet. Dabei handelte es sich um drei Stücke von Guns n'Roses sowie um ein Stück der Gruppe AC/DC. Alle Stücke beinhalten relativ konstante Pegel sowie intensive Schlagzeugpassagen. Für die VR 2 wurde typische Techno-Musik ausgewählt, wobei es sich um

einen einstündigen Mix von Musikstücken der Loveparade-Veranstaltung des Jahres 2001 in Berlin handelte. Die für Techno-Musik typischen impulshaltigen tieffrequenten Bässe prägten sämtliche Musikstücke mehr oder weniger intensiv. In VR 3 wurden die Probanden mit klassischer Musik beschallt. Wohingegen in bereits früher durchgeführten Untersuchungen mit klassischer Musik [29] Streichinstrument-Passagen (u. a. aus Stücken von *Händel* und *Vivaldi*) dominant waren, wurden diesmal Blasinstrument-Kompositionen von *Bach* und *Händel* (aus der Orchester-Suite Nr. 3 und der Feuerwerksmusik) vorgesehen. Alle drei Schallbelastungen wurden als vorgefertigte Schallkonserven von einem CD-Player über einen nachgeschalteten Verstärker auf zwei Lautsprecher in eine Schallschutzkabine übertragen, in der sich eine Versuchsperson aufhielt (vgl. Bild 2).

Es wurde einerseits erwartet, dass – wie in Bild 1 skizziert – die unmittelbare nach den akustischen Belastungen in zeitweiligen Hörschwellenanhebungen messbaren  $TTS_2$ -Werte eine Funktion der vorausgehenden Exposition sind. Andererseits sollte auch deren Rückbildung, insbesondere die Restitutionszeit  $t(0 \text{ dB})$ , d. h. die Zeitdauer bis zur völligen Rückwanderung der TTS, gleichermaßen eine Funktion der vorausgegangenen akustischen Belastung der Versuche 1 bis 3 sein. Bei der in VR 2 verwendeten Techno-Musik handelt es sich ebenso um eine teils impulshaltige und damit das menschliche Gehör vergleichbar beanspruchende Musikrichtung wie die Heavy-Metal-Musik in VR 1. Für die neu zusammengestellte Schallkonserve mit klassischer Musik der VR 3 wurden gleiche oder zumindest ähnliche physiologische Wirkungen erwartet wie für die in vorherigen Studien benutzte klassische Musik [29; 33]. Unter Berücksichtigung der bisher vorliegenden Erfahrungen wurden unterschiedliche aurale Wirkungen (Hörschwellenanhebungen und deren Restitution) bei den drei Versuchsreihen erwartet, die anhand der physiologischen Parameter „ $TTS_2$ “ (Hörschwellenverschiebung 2 min nach Belastungsende), „ $t(0 \text{ dB})$ “ (Zeitpunkt des Wiedererreichens der Ruheshwelle) und „IRTTS“ quantifiziert werden sollten (Details in [34]).

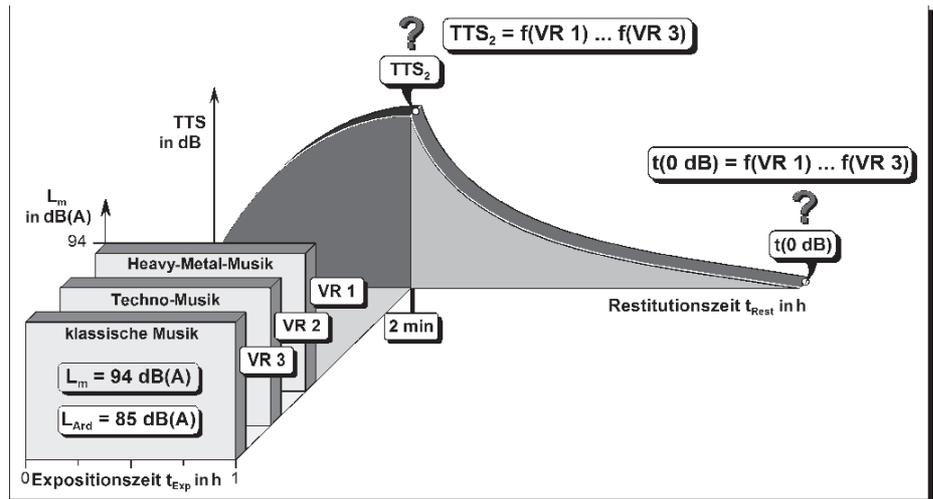


Bild 1. Schematische Darstellung der drei energie-äquivalenten Expositionen (Belastung – vorne) und hypothetischer Aufbau und Abbau (Restitution) der zu erwartenden TTS (Beanspruchung – hinten).

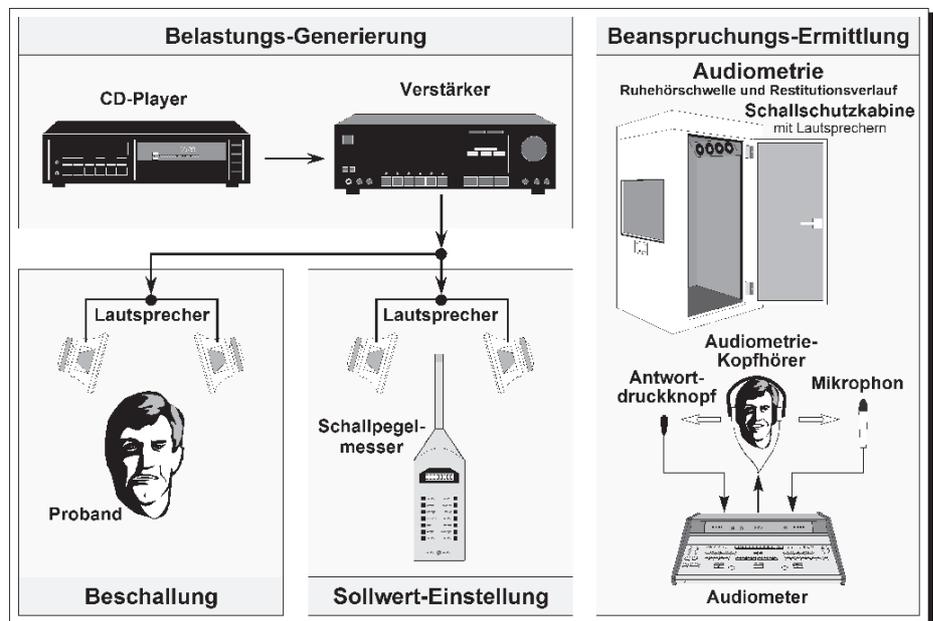


Bild 2. Schematischer Versuchsaufbau der Vertäubungsmessungen.

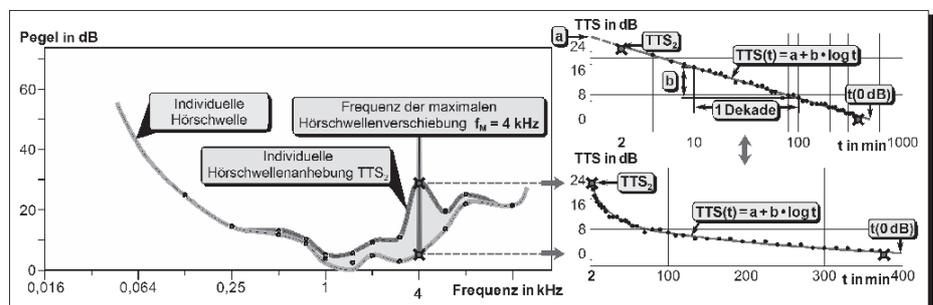


Bild 3. Auswahl der Frequenz mit der maximalen Hörschwellenverschiebung während der ersten 2 min nach Expositionsende (links) und typischer individueller Restitutionsverlauf  $TTS(t)$  nach akustischer Belastung mit den Kennwerten  $TTS_2$  (Vertäubung 2 min nach Expositionsende) und  $t(0 \text{ dB})$  (Restitutionszeit) bei logarithmischer und linearer Zeitskalierung (rechts).

### 3 Versuchspersonen und audiometrische Selektionsverfahren

Jede Versuchsperson wurde in randomisierter Reihenfolge an verschiedenen Tagen allen drei Belastungen ausgesetzt

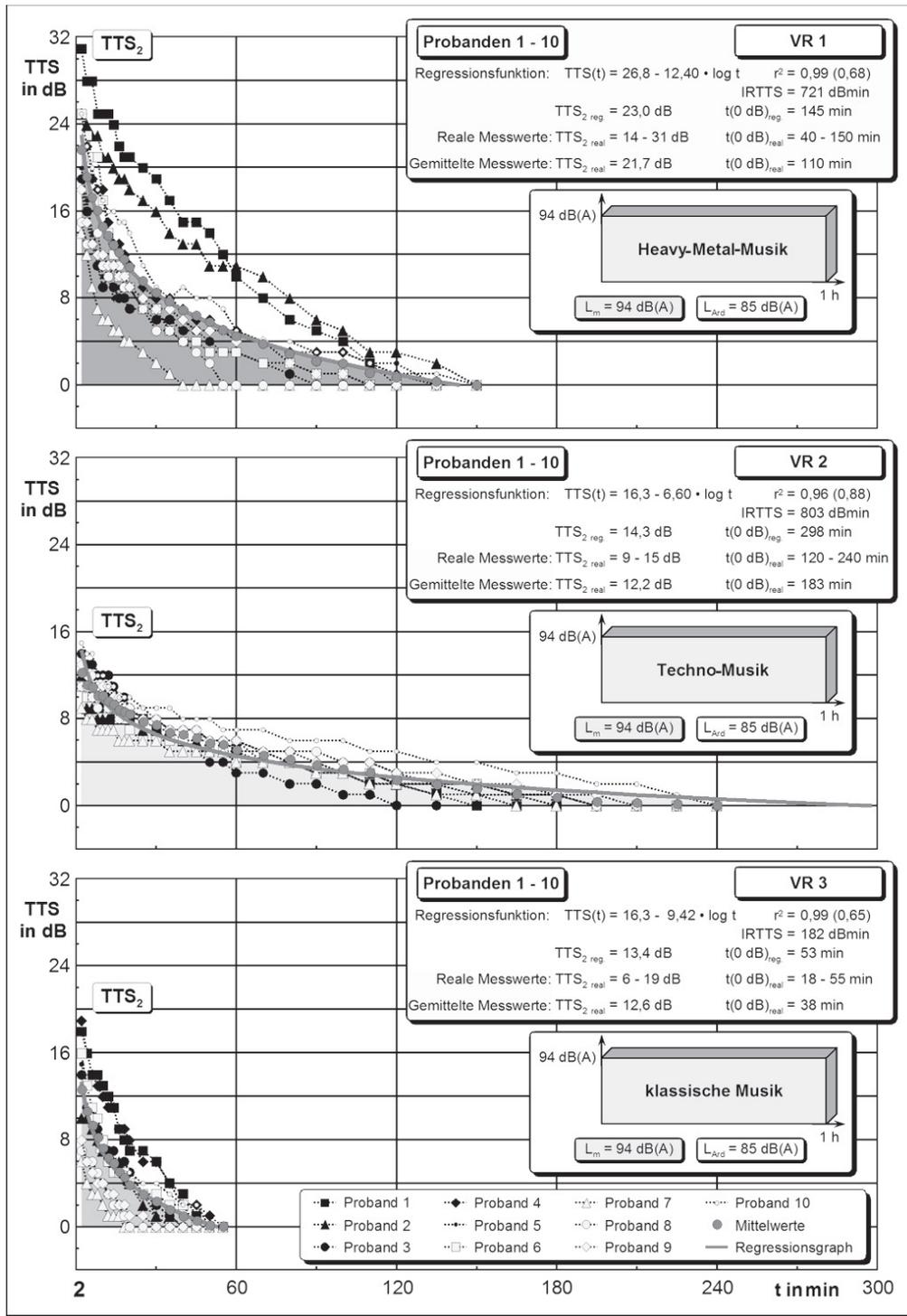


Bild 4. Individueller und mittlerer Restitutionsverlauf TTS(t) über alle zehn Probanden nach den Expositionen mit 94 dB(A)/1 h „Heavy-Metal-Musik“ (oben), „Techno-Musik“ (Mitte) und „klassische Musik“ (unten).

und fungierte damit gleichsam als eigene Kontrolle. Als Probanden kamen nur gehörphysiologisch unauffällige Personen in Frage. Bei zehn nach den Vorgaben von DIN EN ISO 4869-1 [35] selektierten (vier weiblichen und sechs männlichen) Probanden (Alter  $31,5 \pm 4,5$  Jahre) wurde vor jedem Versuch die individuelle Ruheshwelle bestimmt. Diese diente als Basis für die weiteren Messungen und Auswertungen. Nach den akustischen Belastungen galt es, zuerst innerhalb der ersten zwei Minuten durch mehrere Messungen die Frequenz der maximalen Vertäubung  $TTS_2$  eines Probanden zu bestimmen (vgl. Bild 5). Diese zeichnete sich gegenüber

den unteren bzw. oberen Nachbarfrequenzen durch einen wesentlich größeren  $TTS_2$ -Wert und einen deutlich längeren Restitutionsverlauf aus. Bei dieser Frequenz der maximalen Vertäubung, die bei den Probanden zwischen 3 und 6 kHz, meist jedoch bei 4 kHz lag, wurde die Rückwanderung der Hörschwellenverschiebung zu genau festgelegten Zeitpunkten bis zum Wiedererreichen der Ruheshwelle gemessen. Die zeitweilige Hörschwellenverschiebung (TTS) wurde als Differenz der Hörschwelle im Ruhezustand und der Hörschwelle während der Restitution bestimmt.

#### 4 Ergebnisse

Bild 4 zeigt die Messergebnisse der drei Versuchsreihen mit Heavy-Metal-Musik (oben), Techno-Musik (Mitte) und klassischer Musik (unten) eines Pegels von jeweils 94 dB(A) über eine Stunde. In einem TTS-Zeit-Koordinatensystem sind alle Hörschwellenanhebungen, die bei den zehn Probanden nach den drei Belastungen bestimmt wurden, verzeichnet. Ferner sind die arithmetischen Mittelwerte über die zehn Personen und die Regressionskurven für die Versuchsreihen dargestellt. Um eine ganzheitliche Beurteilung der Ergebnisse zu ermöglichen und eine umfassende statistische Überprüfung der gefundenen Unterschiede vornehmen zu können, wurde die Fläche unter der Regressions-

kurve bestimmt. Dieser IRTTS-Wert wird mittels des Integrals über die Regressionsfunktion  $TTS(t)$  vom Zeitpunkt 2 min nach der Belastung bis zum Zeitpunkt  $t(0 \text{ dB})$  errechnet. Die IRTTS stellt einen Zahlenwert für die Gesamtheit der Vertäubungen in  $\text{dB} \cdot \text{min}$  dar. Sie kann daher als ein Wert für die „physiologischen Kosten“ angesehen werden, die das Gehör aufgrund der vorhergehenden Schallbelastung zu „bezahlen“ hat (vgl. [29; 36]). Im oberen Bereich jeder Teilabbildung von Bild 4 sind zusätzlich die Ergebnisse der mathematisch-numerischen Auswertung zusammengestellt. Dabei handelt es sich um die Regressionsfunktion

selbst, aus der die audiometrisch bedeutsamen Werte  $TTS_2$  und  $t(0 \text{ dB})$  bestimmt wurden. Zusätzlich zu der regressionsanalytisch ermittelten maximalen Vertäubung 2 min nach der Belastung ( $TTS_{2 \text{ reg.}}$ ) und der Zeit  $t(0 \text{ dB})_{\text{reg.}}$ , nach der die Vertäubungen wieder völlig abgeklungen waren, sind die Spannweite der realen Messwerte und die Durchschnittswerte, d. h. die über zehn Probanden gemittelten Messwerte  $TTS_{2 \text{ real}}$  und  $t(0 \text{ dB})_{\text{real}}$  aufgeführt. Nicht zuletzt sind noch der IRTTS-Wert und das Bestimmtheitsmaß  $r^2$  für die Mittelwerte (und in Klammern über alle Messwerte) angegeben. Inhaltlich ist Bild 4 zu entnehmen, dass unmittelbar nach Heavy-Metal-Musik (vgl. Bild 4, oben), trotz gewisser individueller Streuungen, im Mittel Vertäubungen um etwa 20 dB (z. B.  $TTS_{2 \text{ reg.}} = 23 \text{ dB}$ ) auftraten, die, dem Verlauf einer abklingenden Exponentialfunktion folgend, mit der Zeit wieder abnahmen, aber erst nach mehr als zwei Stunden (z. B.  $t(0 \text{ dB})_{\text{reg.}} = 145 \text{ min}$ ) völlig verschwunden waren.

Aus dem mittleren Abschnitt von Bild 4 geht hervor, dass sich als Folge der vorausgehenden Beschallung mit Techno-Musik von 94 dB(A) über eine Stunde wesentlich geringere maximale temporäre Hörschwellenverschiebungen (z. B.  $TTS_{2 \text{ reg.}} = 14,3 \text{ dB}$ ) ergeben, die aber erst nach ca. vier Stunden völlig abgeklungen sind, wie  $t(0 \text{ dB})_{\text{real}} = 120 \text{ bis } 240 \text{ min}$  deutlich macht. Der untere Teil von Bild 4 zeigt schließlich, dass eine energieäquivalente Beschallung mit klassischer Musik ebenfalls nur geringe Vertäubungen verursacht. So sind z. B. mit  $TTS_{2 \text{ reg.}} = 13,4 \text{ dB}$  die maximalen Vertäubungen zwar ähnlich hoch wie nach Techno-Musik. Sie sind aber nicht erst nach mehreren Stunden, sondern bereits nach weniger als einer Stunde wieder völlig verschwunden ( $t(0 \text{ dB})_{\text{reg.}} = 53 \text{ min}$ ).

**Bild 5** gibt in komprimierter Form die Ergebnisse aller drei energie-äquivalenten Versuchsreihen auf einen Blick wieder. Zu Beginn und am Ende der „geglätteten“ Restitutionsverläufe von VR 1 bis VR 3 sind jeweils die regressionsanalytischen Kennwerte  $TTS_{2 \text{ reg.}}$  und  $t(0 \text{ dB})_{\text{reg.}}$  eingetragen. Ferner sind auch die IRTTS-Werte aufgeführt, mit denen die physiologischen Kosten der jeweiligen Schallbelastung beziffert werden können. Heavy-Metal-Musik und Techno-Musik als Expositionen in VR 1 und VR 2 verursachen demnach mit IRTTS-Werten von 721 bzw. 803 dBmin ähnlich hohe physiologische Kosten. Nach klassischer Musik ergibt sich hingegen mit 182 dBmin nur ein Bruchteil dessen, was sich nach den übrigen beiden Belastungen einstellte. Um die Ergebnisse nicht überzubewerten, wurde für die Restitutionskurve von VR 2 der (kleinere) Wert  $t(0 \text{ dB})_{\text{real}}$  anstelle von  $t(0 \text{ dB})_{\text{reg.}}$  verwendet.

Bei Ermittlung eines sog. Gehör-Gefährdungs-Faktors (GGF) aus den IRTTS-Werten der einzelnen Expositionen kann auf die relative Gefährlichkeit der jeweiligen akustischen Belastung geschlossen werden. Dazu wurden die

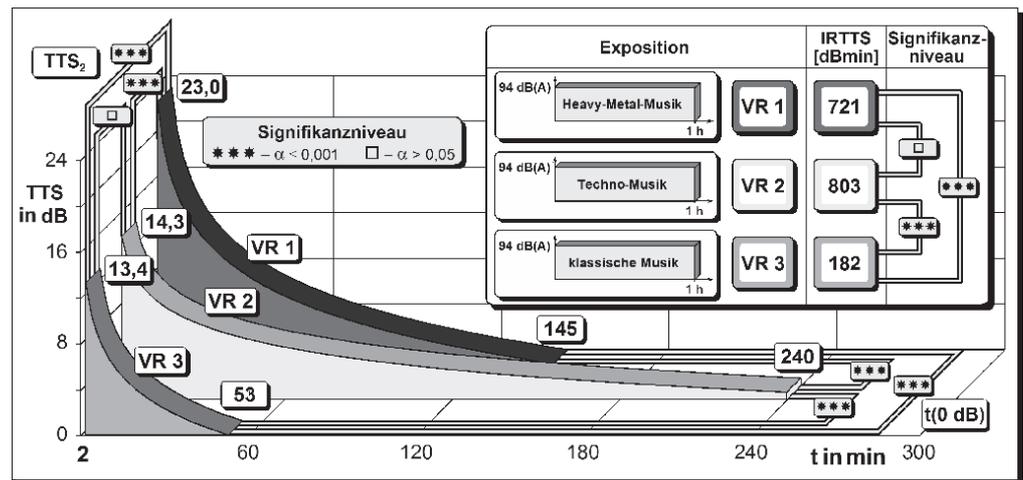


Bild 5. Restitutionsverläufe  $TTS(t)$  aller Expositionen mit den Kennwerten  $TTS_{2 \text{ reg.}}$ ,  $t(0 \text{ dB})_{\text{reg.}}$  und den physiologischen Kosten IRTTS sowie symbolische Kennzeichnung des Signifikanzniveaus (WILCOXON-Test bei einseitiger Fragestellung).

IRTTS-Werte von VR 2 mit Techno Musik und VR 3 mit klassischer Musik auf den IRTTS-Wert von VR 1 mit Heavy-Metal-Musik bezogen ( $IRTTS_{VR2}/IRTTS_{VR1}$ ). Mit VR 1 als Referenz (1,00) ergeben sich folglich die Zahlenwerte 1,11 für VR 2 und 0,25 für VR 3. Quotienten größer als 1,00 deuten auf eine höhere, Zahlenwerte kleiner als 1,00 auf eine geringere Gefahr für das menschliche Gehör hin. Für die Beschallung mit Techno-Musik (VR 2) ergaben sich um 11 % höhere physiologische Kosten als bei der Beschallung mit Heavy-Metal-Musik (VR 1). Bei der Beschallung mit klassischer Musik (VR 3) ergaben sich mit einem Quotienten von nur 0,25 erheblich günstigere Verhältnisse. Die „physiologischen Kosten“ betragen nur etwa ein Viertel derjenigen aus der Referenzexposition (VR 1) und stimmen im Verhältnis ziemlich exakt mit den Ergebnissen von *Strasser et al.* [29] überein. Die in VR 1 und VR 2 deutlich höheren „relativen physiologischen Kosten“ stellen die bedingungslose Verwendung der „Energie-Äquivalenz“ bei Schallbelastungen (aber auch des Frequenzbewertungsfilters A, wie im Folgenden gezeigt wird) in Frage, weil damit unterschiedliche Zeit- und Pegelstrukturen überhaupt nicht berücksichtigt werden können.

## 5 Diskussion

Die Unterschiede in allen Kennwerten von VR 1 und VR 3 sind – wie in Bild 5 dargestellt – hoch signifikant. Das kann u. U. mit der unterschiedlichen Pegelstruktur erklärt werden. Wie die über den einzelnen Pegelbereichen in 2-dB-Schritten ermittelte Pegelhäufigkeitsverteilung in **Bild 6** zeigt, liegen bei Heavy Metal (VR 1) 59,0 % + 46,2 % = 85,2 % der Pegel, d. h. fast die gesamte Schallbelastung bei 92 und 94 dB, während es bei klassischer Musik (VR 3) nur 20,8 % + 18,9 % = 39,7 % sind. Die Schallenergie ist bei diesem Musiktyp also auf einen wesentlich größeren Dynamikbereich verteilt. Bei genauerer Betrachtung ist festzustellen, dass die Pegelhäufigkeitsverteilung der klassischen Musik einer Normalverteilung ähnelt. Die Vertäubungsmessungen bestätigen mit jeweils signifikant höheren  $TTS_2$ -,  $t(0 \text{ dB})$ - und IRTTS-Werten bei der Belastung durch Heavy-Metal-Musik gegenüber klassischer Musik die Ergebnisse früherer Studien (vgl. [29]). Die Tatsache, dass sich die IRTTS-Werte von VR 1 und VR 2 nicht signifikant unterscheiden, beide aber signifikant höher sind als

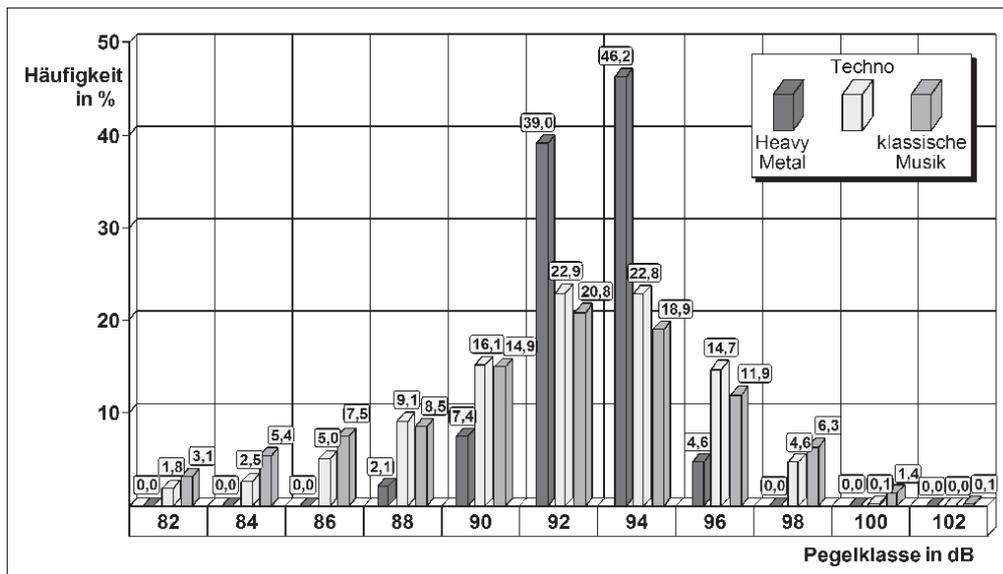


Bild 6. Pegelstatistik der drei Musikschallbelastungen.

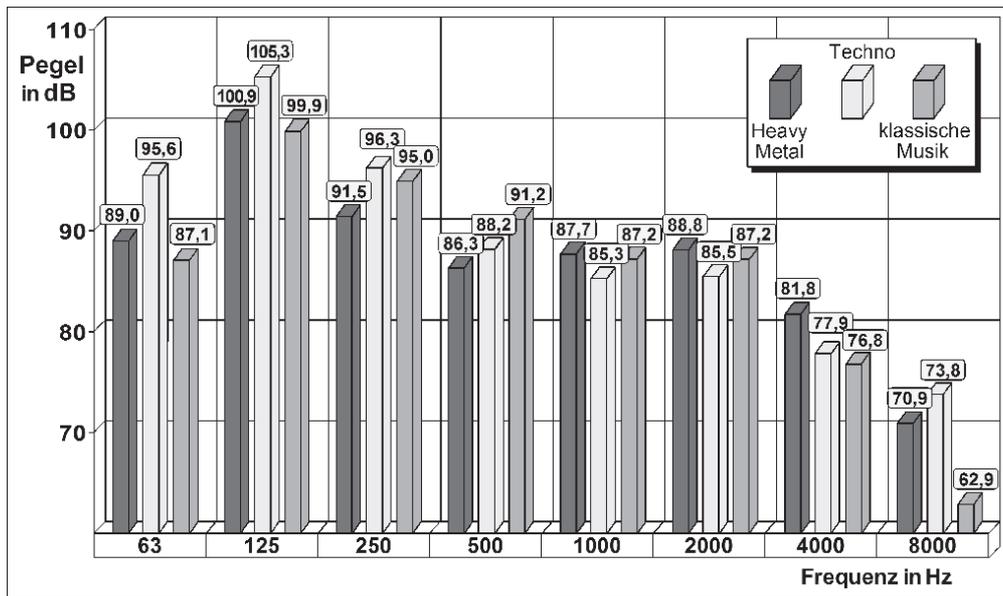


Bild 7. Frequenzanalyse der drei Expositionen.

Unterschiedliche, linear "bewertete" Schallpegel und dB(C)-Werte der drei Musikschall-Expositionen mit jeweils gleichen 94,0 dB(A).

	A-Filter in dB(A)	C-Filter in dB(C)	linear in dB
Heavy Metal	94	102,0	102,2
Techno	94	105,9	106,1
klassische Musik	94	101,8	102,0

der Wert von VR 3, ist dagegen aufgrund der Pegelstruktur nicht erklärbar. VR 2 mit 22,9 % + 22,8 % = 45,7 % der Pegel bei 92 und 94 dB gleicht den Daten von VR 3 und nicht denen von VR 1. Die TTS<sub>2</sub>-Werte von VR 2 und VR 3 sind auch annähernd gleich hoch. Wie im Folgenden gezeigt werden kann, dürften die Unterschiede wohl in den bei VR 2 viel

höheren Schallpegeln in tiefen Frequenzbereichen zu suchen sein, denen ohnehin starke physiologische Reaktionen zugesprochen werden müssen. Bekanntlich führen tiefe Frequenzen nicht nur zu einer Erregung der für sie zuständigen Haarzellen im oberen Bereich der Basilarmembran, sondern auch zu einer Miterregung („Flankenerregung“) aller anderen Haarzellen, die für die höheren Frequenzen zuständig sind (vgl. [1]). Die Ergebnisse einer Frequenzanalyse (vgl. Bild 7) weisen aus, dass Techno-Musik in den unteren Oktaven (63 bis 250 Hz) wesentlich höhere Pegel als die beiden anderen Expositionen hat. Andererseits hatte die Schallexposition in VR 2 auch bei der mit dem C-Filter über alle Frequenzen vorgenommenen Einwert-„Bewertung“ den höchsten Schallpegel.

Wie die Tabelle zeigt, entspricht z. B. der Unterschied zu VR 1 (105,9 dB(C) bis 102,0 dB(C)) mit einem um 3,9 dB(C) höheren Pegel, einer um mehr als das zweifache höheren Schallenergie, die tatsächlich auf das menschliche Gehör einwirkt. Wie aus der Tabelle grundsätzlich hervorgeht, werden alle Musikschallbelastungen mit dem A-Filter als gleich laut ausgewiesen und dabei zahlenmäßig deutlich unterbewertet. Aufgrund dessen stellt sich wieder

einmal die Frage, ob die alleinige Verwendung des A-Filters bei der pegelmäßigen Quantifizierung von Schallereignissen dem Problem angemessen ist. Ursprünglich nur für Pegelbereiche unterhalb 60 dB vorgesehen (vgl. Bild 8), findet diese Frequenzbewertungskurve – u. a. aus Gründen der Bequemlichkeit – mittlerweile in allen Dynamikbereichen Anwendung, wengleich eine Bewertung durch die Filterkurve C (für Pegel zwischen 90 und 120 dB), oder sogar eine lineare Bewertung viel eher angebracht wäre. Die in Bild 8 visualisierten Sachverhalte machen deutlich, dass bei höheren, mit dem A-Filter gemessenen Schallpegeln – entgegen dem Verlauf der dafür geltenden Phonlinien – eine zu niedrige akustische Belastung ausgewiesen wird als tatsächlich auf das menschliche Gehör einwirkt (Details s. [1; 31]). Ein Vergleich der jeweiligen Restitutionsverläufe der drei Versuche in Bild 5 zeigte, dass die Expositionen zu

unterschiedlichen Ausgangs- und Endpunkten der Restitutionsgraphen führen. Obwohl alle drei Testreihen bei gleichem Mittelungspegel von 94 dB(A) durchgeführt wurden, ließen sich fast immer beachtliche Differenzen der realen  $TTS_2$ - und  $t(0 \text{ dB})$ -Werte feststellen. Beispielsweise stehen hohen  $TTS_2$ -Werten in VR 1 niedrige  $TTS_2$ -Werte in VR 2, und mittellangen  $t(0 \text{ dB})$ -Werten in VR 1 hohe  $t(0 \text{ dB})$ -Werte in VR 2 gegenüber. Da sich aber die IRTTS-Werte nicht signifikant unterscheiden, dürfte die integrierte Restitutions-Hörschwellenverschiebung (IRTTS) den für die Bestimmung der totalen physiologischen Kosten akustischer Belastungen wohl am aussagekräftigsten Kennwert darstellen (vgl. [34]). Der Grund für die Unterschiede in der Vertäubungshöhe und der Restitutionszeit ist wohl darin zu sehen, dass hinsichtlich Zeit- und

Pegelstruktur unterschiedliche Expositionen verschiedene Beanspruchungsmechanismen auslösen können. Schließlich ist erwähnenswert, dass trotz subjektiv ausgesprochen positiver Einstellungen aller Probanden zu Techno- und Heavy-Metal-Musik (kein einziger Proband favorisierte klassische Musik), die besonders starken Wirkungen dieser Musikgattungen auf das Gehör nicht zu vermeiden waren. Daraus wird auch deutlich, dass ein mitunter in die Ergebnisse audiologischer Studien hineininterpretierter Zusammenhang zwischen dem subjektiven Empfinden von Schallereignissen und dessen Einfluss auf die aurale Wirkungen [37] nicht unbedingt als gesichert betrachtet werden kann.

## 6 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungsergebnisse haben anhand der Kennwerte  $TTS_2$ ,  $t(0 \text{ dB})$  und IRTTS gezeigt, dass energie-äquivalente, A-bewertete Musikschallbelastungen, die sich jedoch hinsichtlich ihrer Zeit- und Pegelstruktur unterscheiden, signifikant unterschiedliche Wirkungen auf das Gehör haben. Da bei VR 2 mit Techno-Musik, im Gegensatz zu den anderen Musikschallbelastungen, die Effekte weniger in der zeitweiligen Hörschwellenverschiebung ( $TTS_2$ ) zum Ausdruck kommen, als sich vielmehr eindeutig im Zeitverlauf der Beanspruchungskompensation niederschlagen, wird nochmals die Bedeutung der IRTTS (der integrierten Restitutions-Hörschwellenverschiebung) als eines integralen Kennwerts über Beanspruchungshöhe und -dauer offensichtlich, um potenziell gehörgefährdende Schallexpositionen „detektieren“ zu können. Bei alleiniger Betrachtung der Beanspruchungshöhe in Form der  $TTS_2$  wäre Techno-Musik viel zu harmlos eingestuft worden. So gilt es abschließend festzustellen, dass von Heavy-Metal-Musik ähnlich hohe globale physiologische Kosten verursacht werden wie von Techno-Musik. Die aurale Beanspruchung durch klassische Musik ist jedoch erheblich

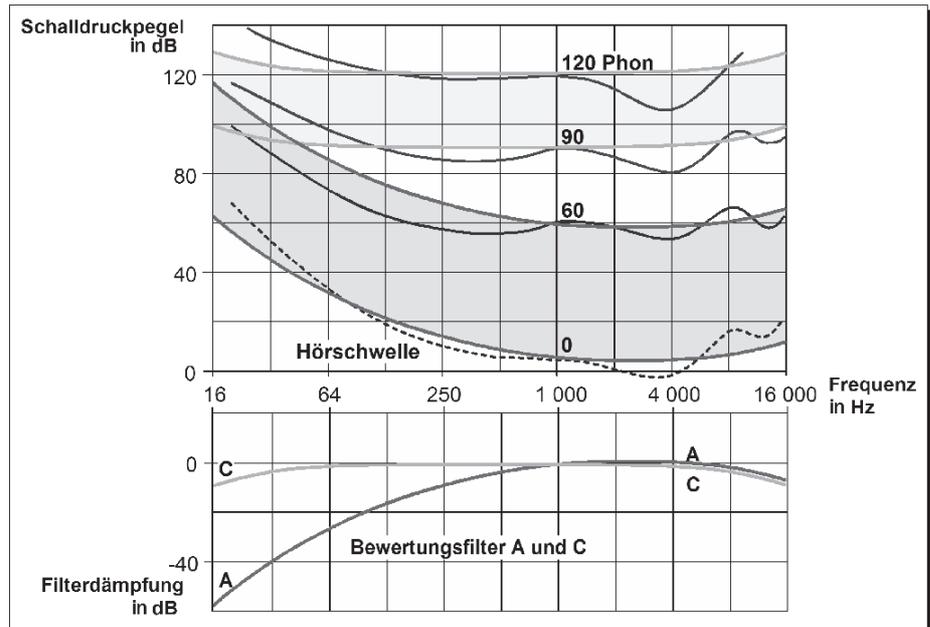


Bild 8. Frequenzabhängige Dämpfung der Bewertungsfilter A und C (unten) und Kurven gleicher subjektiver Lautstärke (oben).

niedriger. Werden weiterhin die Ergebnisse früherer Studien (vgl. [29; 33]) berücksichtigt, die mit zu dieser Studie identischer Heavy-Metal-Musik gleiche physiologische Kosten im Vergleich mit typischem Industrielärm und wiederum wesentlich höhere Vertäubungen im Vergleich mit etwas andersartiger klassischer Musik auswies, liegt folgende Vermutung nahe: Die drei Belastungen „Industrielärm“, „Heavy-Metal-Musik“ und „Techno-Musik“ bewirken zwar insgesamt ähnlich starke Vertäubungen für das Gehör, im Gegensatz zu Industrielärm und Heavy Metal ist aber bei Techno-Musik – infolge des deutlich langsameren Restitutionsverlaufs – langfristig gesehen sogar von einem höheren Gefährdungspotenzial auszugehen.

Angesichts der Versuchsergebnisse und der einleitend aufgezeigten Problematik im Freizeitbereich wären vor allem beim Musikkonsum administrative Maßnahmen zum Gesundheitsschutz höchst wünschenswert. Das gilt vor allem deshalb, weil die heutige Jugend weniger klassischer Musik als vielmehr Heavy-Metal- und Techno-Musik „Gehörschenkt“. Umfangreiche Reglementierungen im industriellen Bereich, mit dem Ziel, die Lärmbelastungen für die Beschäftigten zu reduzieren, helfen auch wenig, wenn sich die Betroffenen in ihrer Freizeit oftmals absichtlich ähnlich hohen, oder sogar noch höheren Belastungen aussetzen. Allein an die Vernunft der Betroffenen zu appellieren, ist unzureichend, da in der heutigen Jugendkultur insbesondere Diskotheken- und Konzertbesuche mit exzessiven akustischen Belastungen aus der Freizeitgestaltung nicht mehr wegzudenken sind.

Sicherlich ist eine sehr wichtige Aufgabe der Behörden auch darin zu sehen, die Bevölkerung über die Wirkungen von Lärm, speziell auch über die möglichen Folgen von Musikschallbelastungen aufzuklären. Nur dann, wenn sich die Betroffenen eventueller Konsequenzen bewusst werden, können sie selbst dazu beitragen, ihr persönliches Gehörgefährdungspotenzial zu vermindern. Diese Aktivitäten sollten schon frühzeitig in der Schule beginnen, um Jugendliche für

diese Thematik zu sensibilisieren, da in der Freizeit erworbene Hörschäden nicht nur für die persönliche Entfaltung im Privatleben bedeutsam sind, sondern ebenfalls negative

Effekte auf die spätere Berufswahl haben können. Leider wird bislang weder in den Lehrplänen der Schulen noch in den Medien diese Problematik adäquat thematisiert.

## Literatur

- [1] *Strasser, H.*: Ergonomie – Umgebungseinflüsse. In: *Hettinger, Th.; Wobbe, G.* (Hrsg.): Kompendium der Arbeitswissenschaft, Kap. 2.5.1. Lärm. S. 243-274. Ludwigshafen: Kiel-Verlag 1993.
- [2] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I, S. 2179.
- [3] Berufsgenossenschaftliche Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Lärm (BGV B3, früher VBG 121). Köln: Carl Heymanns Verlag 1990.
- [4] *Irle, H.; Hesse, J. M.; Strasser, H.*: Physiological cost of energy-equivalent noise exposures with a rating level of 85 dB(A): Hearing threshold shifts associated with energetically negligible continuous and impulse noise. *Int. J. Industrial Ergonomics* 21 (1998), S. 451-463.
- [5] *Ising, H.*: Gehörschäden durch Musik. Informationsbroschüre der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund 1996.
- [6] *Ising, H.; Babisch, W.*: Hörschadensrisiken durch Freizeitlärm. *Fortschritt und Fortbildung in der Medizin* 24 (2000), S. 31-40.
- [7] *Axelsson, A.*: Recreational exposure to noise and its effects. *Noise Control Engineering Journal* 44 (1996) Nr. 3, S. 127-134.
- [8] *Davis, A. C.; Fortnum, H.M.; Coles, R.R.A.; Haggard, M.P.; Lutman, M.E.*: Damage to hearing arising from leisure noise: a review of the literature. In: Report prepared for the Health & Safety Executive by the MRC Institute of Hearing Research, Nottingham. London 1985.
- [9] *Irion, H.*: Gehörschäden durch Musik – Kritische Literaturübersicht. *Kampf dem Lärm* 26 (1979), S. 91-100.
- [10] *Bickerdike, J.; Gregory, A.*: An evaluation of hearing damage risk to attenders at discotheques. Leeds Polytechnical School of Constructional Studies. Dept. Environment Report 13, 1980.
- [11] *Babisch, W.; Ising, H.*: Musikhörgewohnheiten bei Jugendlichen. *Z. Lärmbekämpf.* 41 (1994) S. 91-97.
- [12] *Hoffmann, E.*: Hörfähigkeit und Hörschäden junger Erwachsener. Heidelberg: Median-Verlag 1997.
- [13] *Ising, H.; Babisch, W.; Hanel, J.; Kruppa, B.; Pillgramm, M.*: Empirische Untersuchungen zu Musikhörgewohnheiten von Jugendlichen. *HNO* 43 (1994) S. 244-249.
- [14] *Ising, H.; Babisch, W.*: Untersuchung der Hörfähigkeit und Musikhörgewohnheiten von Jugendlichen sowie der Akzeptanz eines pegelbegrenzten Kassettenabspielgerätes. *Z. Audiol. Supplement I* (1998), S. 195-201.
- [15] *Körpert, K.*: Hearing thresholds of young workers measured in the period from 1976 to 1991. *Swiss Acoustic Society* (1992), S. 181-184.
- [16] *Borchgrevink, H. M.*: Music-induced hearing loss > 20 dB affects 30 % of Norwegian 18 year old males –before military service – The incidence doubled in the 80's, declined in the 90's. Noise and Man '93. Proceedings of the 5th International Congress on Noise as a Public Health Problem. Bd. 2 (1993), S. 25-28. Nizza 1993.
- [17] *Jansen, G.; Struwe, G.; Schwarze, S.; Schwenzler, C.; Nitzsche, M.*: Untersuchung von Hörgewohnheiten und möglichen Gehörrisiken durch Schalleinwirkungen in der Freizeit unter besonderer Berücksichtigung des Walkman-Hörens. Forschungsbericht. Institut für Arbeitsmedizin der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf, 1994.
- [18] Gehörschäden durch Lärmbelastungen in der Freizeit. Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirates der Bundesärztekammer. *Deutsches Ärzteblatt* (1999) Nr. 16, S. 836-839.
- [19] Pegelbegrenzung in Diskotheken zum Schutz vor Gehörschäden. 12. Sitzung der Kommission „Soziakusis“ des Umweltbundesamtes. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 43 (2000) Nr. 8, S. 642-643.
- [20] *Mercier, V.; Würsch, P.; Hohmann, B.*: Gehörgefährdung Jugendlicher durch überlauten Musikkonsum. *Z. Lärmbekämpf.* 45 (1998), S. 17-21.
- [21] *Zenner, H. P.; Struwe, V.; Schuschke, G.; Spreng, M.; Stange, G.; Plath, P.; Babisch, W.; Rebenisch, E.; Plinkert, P.; Bachmann, K. D.; Ising, H.; Lehnert, G.*: Gehörschäden durch Freizeitlärm. *HNO* 47 (1999) Nr. 4, S. 236-248.
- [22] DIN I5905-5: Tontechnik in Theatern und Mehrzweckhallen – Maßnahmen zum Vermeiden einer Gehörgefährdung des Publikums durch hohe Schallpegel bei Lautsprecherwiedergabe. Berlin: Beuth Verlag 1989.
- [23] *Mercier, V.; Hohmann, B.*: Wie laut soll Musik sein? Tagungsband zur DAGA 2000 in Oldenburg, 2000.
- [24] *Marquard, U.; Schäcke, G.*: Gehörgefährdung durch Musizieren im Orchester. *Zbl. Arbeitsmed. Arbeitsschutz Ergon.* 48 (1998), S. 188-204.
- [25] *Sabesky, I.; Korczynski, R. E.*: Noise exposure of symphony orchestra musicians. *Appl. Environm. Hyg.* 10 (1995), S. 131-135.
- [26] *Schäcke, G.; Kwiatkowski, A.; Fuchs, A.*: Audiometrische Untersuchungen bei Musikern. *Zbl. Arbeitsmed. Arbeitsschutz Ergon.* 37 (1987), S. 221-226.
- [27] *Funk, D.; Kessler, H.; Kurz, W.*: Orchestermusik = Lärm? Sicherheitsbeauftragter 8 bzw. 9 (1997), S. 14-18 bzw. S. 14-18.
- [28] *Wegner, R.; Wendlandt, P.; Poschadel B.; Olma, K.; Szadkowski, D.*: Untersuchungen zu Wirksamkeit und Akzeptanz von Gehörschutzmaßnahmen bei Orchestermusikern. *Arbeitsmedizin – Sozialmedizin – Umweltmedizin* 35 (2000), S. 486-497.
- [29] *Strasser, H.; Irle, H.; Scholz, R.*: Physiological cost of energy-equivalent exposures to white noise, heavy metal music, and classical music. *Noise Control Engineering Journal* 47 (1999) Nr. 5, S. 187-192.
- [30] *Strasser, H.; Irle, H.*: Noise: Measuring, evaluation, and rating in ergonomics. In: *Karwowski, W.* (Ed.): International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, Vol. I, Part 3, Performance Related Factors, S. 516-523. London, New York: Taylor & Francis 2001.
- [31] *Strasser, H.*: Dosismaxime und Energie-Äquivalenz – Ein Kernproblem des präventiven Arbeitsschutzes bei der ergonomischen Beurteilung von Umgebungsbelastungen. In: *Strasser, H.* (Hrsg.): Arbeitswissenschaftliche Beurteilung von Umgebungsbelastungen – Anspruch und Wirklichkeit des präventiven Arbeitsschutzes, S. 9–31. Landsberg/Lech: Ecomed 1995.
- [32] *Hesse, J. M.; Irle, H.; Strasser, H.*: Laborexperimentelle Untersuchungen zur Gehörschädlichkeit von Impulsschall. *Z. Arb.wiss.* 48 (20 NF) (1994) Nr. 4, S. 237-244.
- [33] *Strasser, H.; Irle, H.; Legler, R.*: Temporary hearing threshold shifts and restitution after energy-equivalent exposures to industrial noise and classical music. *Noise & Health* 5 (2003) Nr. 20, S. 75-84.
- [34] *Irle, H.; Strasser, H.*: Methodik zur Bestimmung der physiologischen Kosten akustischer Belastungen für das menschliche Gehör. Dokumentation des 47. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, S. 99-102. Dortmund: GfA-Press 2001.
- [35] DIN EN ISO 4869-1: Akustik; Gehörschützer. Teil 1: Subjektive Methode zur Messung der Schalldämmung. Berlin: Beuth Verlag 1991.
- [36] *Irle, H.; Hesse, J. M.; Strasser, H.*: Physiological costs of noise exposure: Temporary threshold shifts. In: *Karwowski, W.* (Hrsg.): International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, Vol. II, Part 7, Environment, S. 1050-1056. London, New York: Taylor & Francis 2001.
- [37] *Babisch, W.; Elke, J. U.; Goosens, C.; Gruber J.; Ising, H.; Winter, A.*: Beeinflussung der zeitweiligen Hörschwellenverschiebung (TTS) durch psychologische Faktoren. *Z. Lärmbekämpf.* 32 (1985) Nr. 2, S. 2-8.