

Vertäubung und Erholung des Gehörs nach energie-äquivalenten Belastungen

Helmut Strasser, Hartmut Irle und Rajko Legler

Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Universität Siegen; Email: h.strasser@aws.mb.uni-siegen.de

Einleitung und Fragestellung

In vorausgehenden Studien konnte bereits experimentell belegt werden, dass energie-gleiche Schallbelastungen, die jedoch eine unterschiedliche Zeitstruktur aufweisen, zu höchst unterschiedlichen „physiologischen Kosten“ führen können, die grundsätzlich in Vertäubungen des Gehörs messbar sind (vgl. z.B. STRASSER, 1999^[1]; IRLE et al., 1999^[2]). Dazu eignen sich aber weniger die unmittelbar nach einer Schallexposition (in der Regel innerhalb von 2 min) audiometrisch messbaren maximalen Temporary Threshold Shifts, die TTS₂-Werte, als vielmehr deren Restitutionsverhalten.

In weiteren Studien (vgl. STRASSER et al. 1999^[3]) führte z.B. eine Belastung von Testpersonen mit Industriegläuschen eines Mittelungspegels von 94 dB(A) über 1 h zu Vertäubungen, die um etwa 50% höher waren als die eines gleich lauten Referenzgeräusches von Weißem Rauschen. Ein Potpourri aus Heavy Metal-Musik erwies sich als ein enger Verwandter zu den Industriegläuschen, mit nahezu gleichen Vertäubungen um ca. 20 dB. Klassische Musik hingegen führte lediglich zu etwa einem Viertel dessen, was sich nach Industriegläuschen und Heavy Metal-Musik an Vertäubung ergab.

Nach gesetzlichen und berufsgenossenschaftlichen Vorgaben (vgl. N.N., 1990^[4]) kann zwar die Belastung von 94 dB über 1 h über den Halbierungsparameter $q = 3$ einer akustischen Belastung von 91 dB / 2 h, 88 dB / 4 h oder 85 dB / 8 h gleichgestellt werden. Selbst wenn dabei von einer gleichen Schalldosis, also einer gleichen Energie, ausgegangen werden kann, sollte jedoch nicht immer mit gleichen Wirkungen gerechnet werden. Vorsicht ist vor allem dann geboten, wenn die Frequenzzusammensetzung und Zeitstruktur energie-gleicher Schallereignisse variieren, oder wenn Impulsschall nach der 3-dB-Regel in energie-äquivalenten Dauerschall umgerechnet wird.

Bislang bestehen zwar umfangreiche Erfahrungen (der eigenen Arbeitsgruppe) mit den Wirkungen von Schallbelastungen im Kontinuum zwischen ethisch noch vertretbaren 113 dB / 45 s und 94 dB / 1 h. Die Auswirkungen energie-äquivalenter Belastungen bei längeren Expositionen, letztlich bei einem 8-Stunden-Tag mit 85 dB (d.h. bei einem Beurteilungspegel $L_r = 85$ dB) sind jedoch arbeitsphysiologisch weniger „untermauert“. Deshalb wurden bereits in ihren Wirkungen grundsätzlich bekannte Schallexpositionen (Industrielärm und Klassische Musik) bei verlängerten Expositionszeiten und reduzierten Pegeln hinsichtlich ihrer audiometrischen Wirkungen re-analysiert.

Methodik

Testdesign und Versuchsaufbau

Als Expositionen wurden – wie in Abb. 1 dargestellt – in den Versuchsreihen 2 und 3 (VR 2 und VR 3) mit jeweils 91 dB über 2 h doppelt so lange, dabei aber um 3 dB niedrigere Belastungen gewählt als in der Referenz-Versuchsreihe (VR 1). Bei VR 1 und VR 2 wurden 25 s-Abschnitte einer Demonstrations-Geräusch-CD nahtlos aneinander gereiht, so dass sich ein zusammenhängendes Geräusch von 1 h Länge ergab. In beiden Schallkonserven waren neben einem Grundgeräusch des Maschinenparks eines metallverarbeitenden Betriebes auch Impulse enthalten, die sich aus Hammerschlägen, herabfallenden Blechen und Rohren, aber auch aus Arbeitsverfahren, wie Schmieden und Stanzen ergaben. In VR 3 wurden die Probanden mit Klassischer Musik beschallt. Mit dem

„Largo“ aus Händels „Xerxes“, und Teilen aus Vivaldis „Vier Jahreszeiten“ sowie Smetanas „Die Moldau“ waren Musikstücke vorgesehen, bei denen „getragene“ Passagen, langsame und leise sowie laute und schnelle Abschnitte aufeinander folgten.

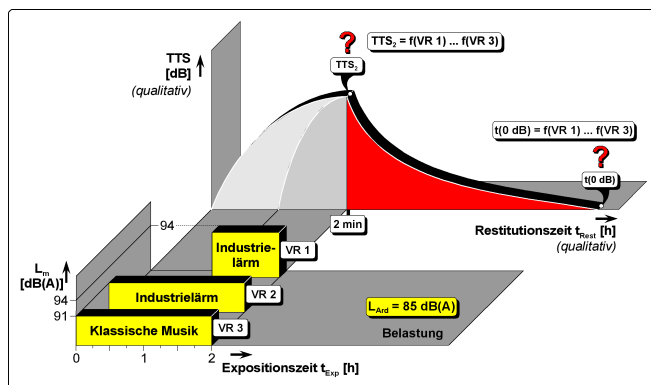


Abb. 1: Schematische Darstellung der 3 energie-äquivalenten Expositionen (Belastung – gelb) und hypothetischer Aufbau und Abbau (Restitution) der zu erwartenden Hörschwellenverschiebungen TTS (Beanspruchung – rot)

Alle 3 Schallbelastungen wurden als vorgefertigte Schallkonserven von einem DAT-Recorder über Verstärker auf 2 Lautsprecher in eine Schallschuttkabine übertragen, in der sich eine Versuchsperson in einer standardisierten Sitzposition aufhielt. Die Musikstücke und Testgeräusche waren so zusammengestellt worden, dass keine systematischen Differenzen in der Belegung der mittleren 8 Oktavbänder von 63 bis 8000 Hz bestanden. Wie im hinteren Teil von Abb. 1 veranschaulicht, wurde (hypothetisch) erwartet, dass sich sowohl bei den maximalen Vertäubungen, den TTS₂-Werten, als auch bei der Restitutionszeit, insbesondere bei den t(0 dB)-Werten als abhängige Variablen, unterschiedliche Werte in Abhängigkeit von den Belastungen in den Versuchsreihen VR 1 bis VR 3 ergeben würden.

Probanden und audiometrische Selektionsverfahren

Als Testpersonen – die in randomisierter Reihenfolge an verschiedenen Tagen allen 3 Belastungen ausgesetzt wurden, und damit gleichsam als ihre eigene Kontrolle fungierten – kamen nur gehörsphysiologisch unauffällige Personen in Frage (vgl. DIN ISO 4869-1^[5]). Bei 10 derart selektierten (3 weiblichen und 7 männlichen) Probanden (im Alter von 26 ± 3.4 Jahren) wurde vor jedem Versuch erneut die individuelle Ruhehörschwelle bestimmt. Diese diente als Basis für die weiteren Messungen und Auswertungen.

Nach den akustischen Belastungen galt es, zuerst durch mehrere Messungen – wie beispielhaft in Abb. 2 veranschaulicht – die Frequenz der maximalen Vertäubung TTS₂ eines Probanden zu bestimmen. Bei dieser Frequenz der maximalen Vertäubung, die in der Regel bei 4 oder 6 kHz lag, wurde die Rückwanderung der Hörschwellenverschiebung zu genau festgelegten Zeitpunkten bis zum Wiedererreichen der Ruhehörschwelle, dem Zeitpunkt t(0 dB) gemessen.

Ergebnisse

Abb. 3a zeigt sämtliche Messergebnisse nach Industrielärm eines Pegels von 94 dB(A) über 1 h, der für die Versuchsreihe als Referenzbelastung diente. Inhaltlich ist ihr zu entnehmen, dass unmittel-

telbar nach der akustischen Belastung trotz gewisser individueller Streuungen im Mittel systematische Vertäubungen von etwas mehr als 20 dB (z.B. $TTS_{2, \text{reg.}} = 23,7 \text{ dB}$) auftraten, die, dem Verlauf einer abklingenden e-Funktion folgend, mit der Zeit wieder abnahmen und spätestens nach ca. 2½ h (z.B. $t(0 \text{ dB})_{\text{reg.}} = 154 \text{ min}$) völlig verschwunden waren.

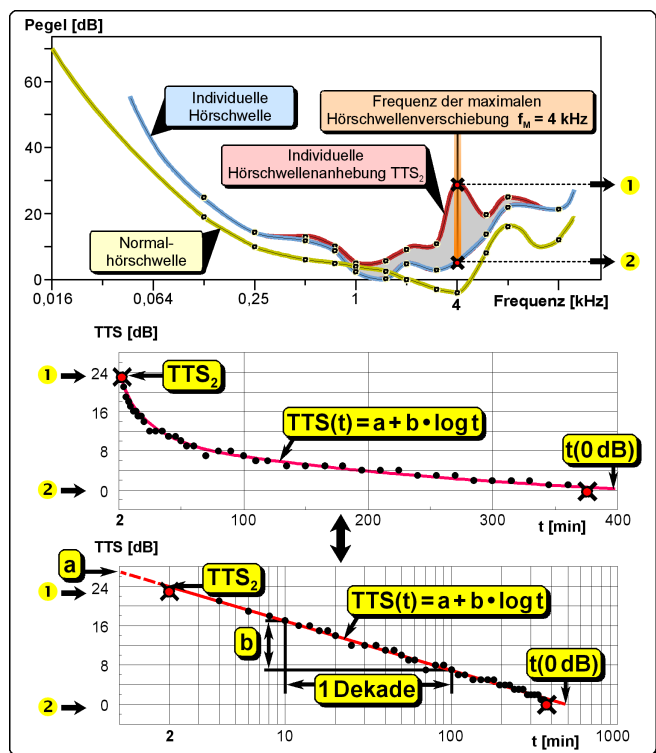


Abb. 2: Auswahl der Frequenz maximaler Vertäubung während der ersten 2 min nach Expositionsende und typischer individueller Restitutionsverlauf TTS(t) mit den Kennwerten TTS₂ und t(0 dB) bei linearer und logarithmischer Zeitskalierung

Abb. 3b zeigt, dass nach einer energetisch gleichen Belastung mit demselben Industrielärm, der bei einem um 3 dB reduzierten Pegel von 91 dB mit 2 h doppelt so lange einwirkte, fast identische Ergebnisse gemessen wurden. Die TTS₂-Werte liegen mit regressionsanalytisch bestimmten 24,8 dB praktisch auf gleichem Niveau wie bei VR 1. Unterschiede in der Größenordnung von 1 dB sollten – weil in der Größenordnung der Messgenauigkeit liegend – nicht interpretiert werden. Die Restitution dauerte mit einem $t(0 \text{ dB})_{\text{reg.}}$ -Wert von 153 min ebenfalls ziemlich exakt gleich lang.

Abb. 3c zeigt schließlich, dass Klassische Musik wesentlich geringere Vertäubungen verursacht. Die Kennwerte der Hörschwellenanhebungen hinsichtlich Ausmaß und Zeitdauer sind erheblich kleiner. So sind z.B. mit $TTS_{2, \text{reg.}} = 9,7 \text{ dB}$ die maximalen Vertäubungen weniger als halb so groß wie nach den beiden anderen Schallbelastungen, und diese sind auch nicht erst nach ca. 2½ h, sondern wie $t(0 \text{ dB})_{\text{reg.}} = 37 \text{ min}$ deutlich macht, bereits nach etwas mehr als einer halben Stunde wieder völlig verschwunden.

Um eine ganzheitliche Beurteilung der Ergebnisse zu ermöglichen, und um eine umfassende statistische Überprüfung der gefundenen Unterschiede vornehmen zu können, wurde mit der Integrated Restitution Temporary Threshold Shift, bzw. dem IRTTS-Wert (Integral über die Regressionsfunktion TTS(t) vom Zeitpunkt 2 min nach der Belastung bis zum Zeitpunkt t(0 dB)) ein weiterer Kennwert der auralen Auswirkungen von Schallbelastungen berechnet. Dieser stellt einen Zahlenwert für die Gesamtheit der Vertäubungen in dB x min dar, die als physiologische Kosten vom Gehör für die vorausgegangene Belastung zu „bezahlen“ sind.

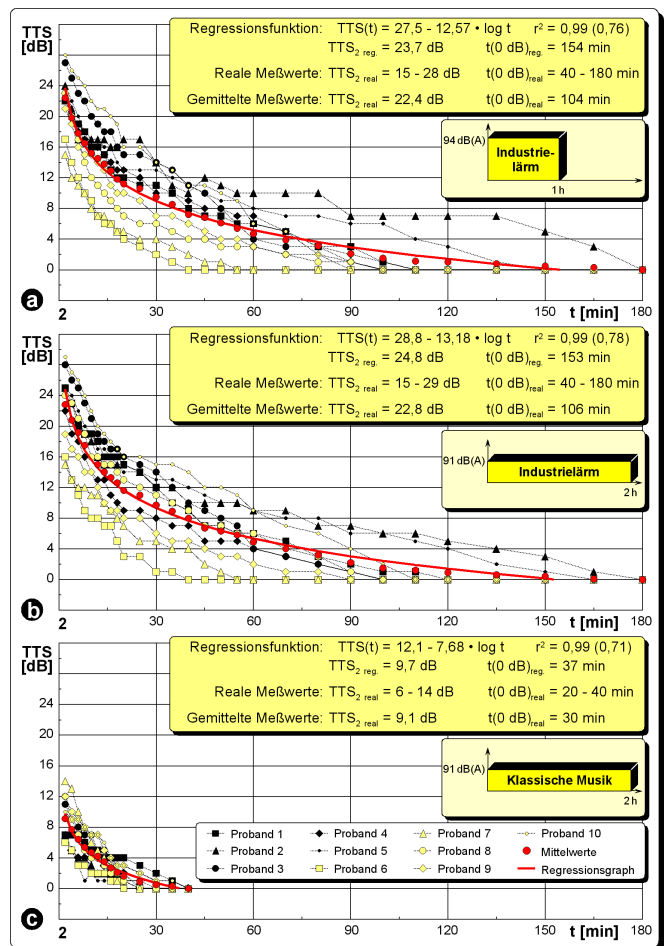


Abb. 3: Individueller und mittlerer Restitutionsverlauf TTS (t) über alle 10 Probanden nach der Exposition „94 dB(A) / 1 h Industrielärm“ (VR 1) (a), „91 dB(A) / 2 h Industrielärm“ (VR 2) (b) und nach der Exposition „91 dB(A) / 2 h Klassische Musik“ (VR 3) (c)

Abb. 4 gibt für Vergleichszwecke in komprimierter Form die Beanspruchungen des Gehörs als Reaktion auf die 3 energie-äquivalenten Belastungen wieder. Zu Beginn und am Ende der geglätteten Restitutionsverläufe von VR 1, VR 2 und VR 3 sind jeweils die regressionsanalytischen Kennwerte TTS_{2, reg.} und $t(0 \text{ dB})_{\text{reg.}}$ eingetragen. In der oberen rechten Ecke der Abbildung sind auch die IRTTS-Werte aufgeführt, mit denen die physiologischen Kosten der jeweiligen Schallbelastung beziffert werden können. Industrielärm mit einem Pegel von 94 dB über 1 h in VR 1 und 91 dB über 2 h in VR 2 verursacht demnach mit IRTTS-Werten von 774 bzw. 800 dBmin praktisch gleich hohe physiologische Kosten, was auch schon aus den TTS₂-Werten und den t(0 dB)-Werten zu erwarten war. Der IRTTS-Wert von „Klassischer Musik“ eines Pegels von 91 dB über 2 h beläuft sich hingegen mit nur 98 dBmin lediglich auf einen Bruchteil dessen, was Industrielärm an Vertäubung verursacht.

Wie aus Abb. 4 ferner hervorgeht, sind mit dem WILCOXON-Test auch bei einer (eher angebrachten) zweiseitigen Fragestellung statistisch absicherbare Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Belastungen mit Industrielärm und Klassischer Musik nachweisbar. „Klassische Musik“ führt demnach zu hochsignifikant geringeren physiologischen Kosten, sowohl im Vergleich zu einem ebenso lauten und gleich lange dauernden Industrielärm, als auch im Vergleich zu einem um 3 dB lauterem, dafür aber nur halb so lange einwirkenden Industrielärm. Die Ergebnisse der Versuchsreihen VR 1 und VR 2 waren in allen 3 Parametern praktisch identisch, somit bestehen auch keine signifikanten Unterschiede.

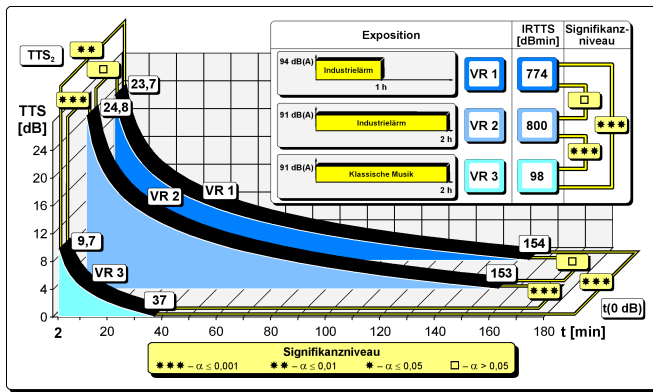


Abb. 4: Restitutionsverläufe TTS(t) aller Expositionen mit den Kennwerten TTS_{2,reg.}, t(0 dB)_{reg.} und den physiologischen Kosten IRTTS sowie symbolischer Kennzeichnung des Signifikanzniveaus (WILCOXON-Test bei zweiseitiger Fragestellung)

Werden die IRTTS-Werte von Industriellärm in VR 1 und Klassischer Musik in VR 3 auf den IRTTS-Wert von Industriellärm in VR 2 bezogen, betragen die Vertäubungen nach Klassischer Musik gerade einmal 12%, und damit nur einen Bruchteil dessen, was durch Industriellärm gleicher Höhe und Dauer verursacht wird.

Diskussion

Zur Gültigkeit der Energie-Äquivalenz

Da die Hörschwellenanhebungen und ihre Restitution nach den Expositionen der Versuchsreihen VR 1 und VR 2 sich keinesfalls signifikant unterscheiden, sondern praktisch identisch sind, ist das als ein Indiz dafür zu werten, dass die Gültigkeit der Energie-Äquivalenz für Schallbelastungen wohl dann zurecht auch für deren Wirkungen unterstellt werden darf, wenn es sich um Expositionszeiten im Stundenbereich handelt. Damit ist zwar noch nicht abschließend belegt, dass auch die Wirkungen von realen, bis zu 8 h währenden betrieblichen Lärmbelastungen mit denen der Referenzbelastung von 94 dB / 1 h identisch sind. Im Verbund mit bisherigen Erfahrungen von MILLER (1974)^[6] spricht aber doch einiges dafür, dass für audiometrische Studien die hier und in vielen anderen Untersuchungen gewählte Referenzbelastung (vgl. z.B. HESSE et al., 1994^[7]; IRLE et al. 1998^[8]; STRASSER et al., 1999^[3]) ihre Berechtigung hat. Eine Exposition mit einer auf 1 h begrenzten Dauer trägt natürlich auch dazu bei, den Aufwand für audiometrische Messungen im Labor in Grenzen zu halten.

Mit den hier in VR 1 und VR 2 gemessenen Vertäubungen von größenordnungsmäßig 20 dB wird aber erneut bestätigt, dass das Gehör für Schallbelastungen, die in den meisten Ländern im Produktionsbereich ohne Tragen von Gehörschutz toleriert werden (vgl. N.N., 1997^[10]), bereits erhebliche physiologische Kosten zu bezahlen hat. Diese müssen sich auch zwangsläufig in Beeinträchtigungen des Hörens von akustischen Signalen niederschlagen. Das ist für die Zeit der Hörschwellenanhebung natürlich ein Verlust an Lebensqualität, und das kann auch sicherheitstechnisch bedenklich werden, wenn Warnsignale nicht mehr adäquat wahrgenommen werden können.

Zur besseren „Verträglichkeit“ von Klassischer Musik

Die beiden Schallkonserven für Industriellärm und „Klassische Musik“ wurden – wie in der Methodik beschrieben – so zusammengestellt, dass sich bei der frequenzmäßigen Verteilung keine systematischen Unterschiede ergaben. Damit ist bei der Suche nach einer Erklärung für die höchst unterschiedlichen Vertäubungswirkungen an eventuelle Unterschiede in der Zeitstruktur der Schallergebnisse und in der Pegelstatistik zu denken. In diesem Zusammenhang sei aber auch erwähnt, dass offenbar nicht die Spitzenpegel für die metabolische Ermüdung des Gehörs entscheidend sind.

Schließlich waren in der Konserve der Klassischen Musik mit 123 dB im Vergleich zu 117 dB bei Industriellärm sogar die höchsten unbewerteten Pegel L_{peak} enthalten.

Bedenkt man schließlich, dass „Klassische Musik“ grobenteils aus sinusförmigen Zeitverläufen der Schallereignisse besteht, dann wird vielleicht verständlich, weswegen das menschliche Gehör durch die hier gewählte Musikbelastung weniger stark in Mitleidenschaft gezogen wurde. Ein Ton wird bekanntlich durch eine Sinusschwingung einer einzelnen Frequenz, und ein Klang durch ein Gemisch von Sinustönen repräsentiert, die in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen. Das ist bei Geräuschen mit einem meist breitbandigen Gemisch von stochastischen und meist nicht sinusförmigen Zeitsignalen nicht der Fall. Wenngleich feststeht, dass auch sehr laute „Klassische Musik“ nicht ungefährlich für das Gehör ist (vgl. z.B. SATALOFF and SATALOFF, 1993^[11]; MERCIER et al., 1998^[12]), so sollte doch außer Frage stehen, welche Art von Musik wohl eher verträglich ist, bzw. eher zu den Funktionsweisen des Gehörs kompatibel ist. Heavy Metal-Musik ist jedenfalls nach den Befunden früherer Studien (vgl. STRASSER et al., 1999^[3]) als naher Verwandter von Industrieeräuschen – die oft von mehr oder weniger heftigen Metall-auf-Metall-Schlägen herrühren – auch hinsichtlich seiner Wirkungen auf die Vertäubung davon nicht zu unterscheiden.

- STRASSER, H.: Dosismaxime und Energie-Äquivalenz – Ein Kernproblem des präventiven Arbeitsschutzes bei der ergonomischen Beurteilung von Umgebungsbelastungen. In: Expertengespräch „Dosis-Wirkungs-Modelle der körperlichen Belastung an der Lendenwirbelsäule. 4. November 1998, Hamburg. 35-77. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin, 1999
- IRLE, H.; HINZMANN, G. und H. STRASSER: Hörschwellenverschiebungen nach Impulsschall – Einfluß der Impulsanzahl und Impulsdauer. Z.Arb.wiss. 53 (25 NF) 2, 83-94 (1999)
- STRASSER, H.; IRLE, H. and R. SCHOLZ: Physiological Cost of Energy-Equivalent Exposures to White Noise, Industrial Noise, Heavy Metal Music, and Classical Music. Noise Control Engineering Journal 47 (5) 187-192 (1999)
- N.N.: UVV-Lärm, Unfallverhütungsvorschrift der gewerblichen Berufsgenossenschaften (VBG 121), C. Heymanns Verlag, Köln, 1990
- DIN ISO 4869-1: Akustik; Gehörschützer, Teil 1: Subjektive Methode zur Messung der Schalldämmung. Beuth Verlag, Berlin, 1990
- MILLER, J.D.: Effects of Noise on People. J. Acoustics Soc. America 56 (3) 729-764 (1974)
- HESSE, J.M.; IRLE, H. und H. STRASSER: Laborexperimentelle Untersuchungen zur Gehörschädlichkeit von Impulsschall. Z.Arb.wiss. 48 (20 NF) 4, 237-244 (1994)
- IRLE, H.; HESSE, J.M.; and H. STRASSER: 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. International Journal of Industrial Ergonomics 21, 451-463 (1998)
- STRASSER, H.; IRLE, H. and R. SCHOLZ: Physiological Cost of Energy-Equivalent Exposures to White Noise, Industrial Noise, Heavy Metal Music, and Classical Music. Noise Control Engineering Journal 47 (5) 187-192 (1999)
- N.N.: Technical Assessment of Upper Limits on Noise in the Workplace. Final Report, Approved by the International Institute of Noise Control Engineering. Noise/News International 203-216 (1997)
- MERCIER, V.; WÜRSCH, P. und B. HOHMANN: Gehörgefährdung Jugendlicher durch überlauten Musikkonsum. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 45 (1) 17-21 (1998)
- SATALOFF, R.T. and J. SATALOFF: Hearing Loss in Musicians. In: SATALOFF: R.T. and J. SATALOFF (Eds.): Occupational Hearing Loss, 583-594. Second Edition, Revised and Expanded, Marcel Dekker, Inc. New York, Basel, Hong Kong, 1993
- STRASSER, H.; IRLE, H. and R. SCHOLZ: Physiological Cost of Energy-Equivalent Exposures to White Noise, Industrial Noise, Heavy Metal Music, and Classical Music. Noise Control Engineering Journal 47 (5) 187-192 (1999)

Diese Seite ist mit Absicht unbedruckt.

This page intentionally left blank.