

Biologische Wirkungen von tieffrequentem Schall/Infraschall

Silvester Siegmann und Uwe Nigmann

Druckwellen in Luft, aber auch in Flüssigkeiten und Festkörpern werden als Schall bezeichnet. Der für den Menschen hörbare Schall liegt im Bereich von 16 (bzw. 20) Hz bis 20 kHz, wobei sich mit zunehmendem Alter die obere Hörschwelle vermindert. Den Bereich unterhalb der Hörschwelle (0,1 - 20 Hz) bezeichnet man als Infraschall, den Bereich oberhalb (>20 kHz) als Ultraschall.

Infraschall unterscheidet sich also lediglich durch den Frequenzbereich von hörbarem Schall, Intensitätsangaben erfolgen in Dezibel (dB). Die Ausbreitungsdämpfung in Luft und die Dämpfung durch Bauten und Wälle ist gering.

Hohe Infraschallpegel können v. a. an Arbeitsplätzen, aber auch im Wohn- und Erholungsbereich überall dort entstehen, wo Maschinen mit großen Schwingungen betrieben werden, häufig auch in Kombination mit niederfrequentem hörbarem Schall.

Dies ist z. B. bei Kompressoren, Klimaanlage, Förderanlagen, Industrieanlagen (v. a. Verdichterstationen) sowie großen Verkehrsmitteln (z. B. Flugzeuge, auch PKW mit offenem Fenster) der Fall.

Die biologischen Wirkungen von Infraschall sind bisher nur unvollständig untersucht worden, so können über die Wirkungen auf den Menschen keine allgemein gültigen Aussagen gemacht werden. Hinzu kommt, dass nicht alle Infraschallquellen (mit Maximalpegeln) hinreichend bekannt sind und somit der Anteil der exponierten Bevölkerung nicht abzuschätzen ist. Im Folgenden soll der derzeitige gesicherte Stand erläutert werden.

Richtwerte

Tieffrequente Geräusche sind ein Sonderfall von Geräuschbelastungen in der Nachbarschaft bedingt durch Betriebe oder Anlagen. Der Umgang mit diesen Geräuschen ist in der TA Lärm in dem Kapitel 7.3 „Berücksichtigung tieffrequenter Geräusche“ geregelt. Diese Technische Anleitung dient dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche sowie der Vorsorge gegen diese. Sie gilt für Anlagen, die als genehmigungsbedürftige oder nicht genehmigungsbedürftige Anlagen den Anforderungen des Zweiten Teils des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) unterliegen. Als normkonkretisieren-

de Verwaltungsvorschrift kommt der TA Lärm nach außen wirkende Verbindlichkeit zu.

Als einschlägige Norm gilt weiterhin:

- **DIN 45680:1997-03:** *Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft*
- **DIN 45680 Beiblatt 1:1997-03:** *Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft - Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen*

Zur Beurteilung tieffrequenter Geräusche wird die mittlere Hörschwellenkurve als Vergleich herangezogen, wobei in Abhängigkeit des jeweiligen Frequenzbereiches des tieffrequenten Geräusches und des Zeitpunktes des Geräusches (tags oder nachts) unterschiedliche Überschreitungen der mittleren Hörschwellenkurve zulässig sind. Die hierzu gehörenden Werte sind im Beiblatt 1 der DIN 45680:1997-03 aufgeführt (siehe Tabelle).

Die TA Lärm gilt nicht für folgende Anlagen:

- Sportanlagen, die der Sportanlagenlärm-schutzverordnung (BImSchV) unterliegen,
- sonstige nicht genehmigungsbedürftige Freizeitanlagen sowie Freiluftgaststätten,
- nicht genehmigungsbedürftige landwirtschaftliche Anlagen,
- Schießplätze, auf denen mit Waffen ab Kaliber 20 mm geschossen wird,

- Tagebaue und die zum Betrieb eines Tagebaus erforderlichen Anlagen,
- Baustellen,
- Seehafenumschlagsanlagen,
- Anlagen für soziale Zwecke.

Biologische Wirkungen

Aurale Wirkungen

In tierexperimentellen Studien mit Chinchillas (Lim, 1982) zeigten sich bei 10-minütigen intermittierenden bzw. kontinuierlichen Expositionen von 150-170 dB (1, 10, 20 Hz) durchweg Schädigungen des Trommelfells im vorderen unteren Quadranten sowie häufig eine Schädigung des Mittelohres (Blutungen) und Hydrops des Innenohres. Das Ausmaß bzw. die Häufigkeit der Schädigung war bei kontinuierlichem Lärm höher und nahm mit ansteigendem Schalldruckpegel sowie bei den niedrigen Frequenzen zu. Eine Verhaltensänderung (Nyctagmus, Schmerz, Schwindelgefühl) wurde nicht beobachtet. Karpova (1970) wies bei Mäusen, Kaninchen und Meerschweinchen eine Veränderung der Volumina der Hörkerne nach Exposition von industriellem Infraschall (5/10 Hz) bei 100 bzw. 135 dB nach.

Die tierexperimentellen Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Infraschallwellen auf das Trommelfell und Mittel-/Innenohr übertragen werden und dort zu einer mechanischen

Tabelle für tieffrequente Geräusche mit hervortretenden tonalen Komponenten gem. DIN 45680 Beiblatt 1:1997-03. Der Frequenzbereich für tieffrequente Geräusche ist entsprechend DIN 45680 auf den Bereich von 10 Hz bis 80 Hz begrenzt, für die benachbarten 8 Hz-Terz und 100 Hz-Terz werden noch hilfsweise Vorgaben angegeben, daher sind in der Tabelle die entsprechenden Werte kursiv gesetzt:

Terzmittenfrequenz [Hz]	mittlere Hörschwellenkurve [dB]	maximal zulässiger Mittelwert (tags / nachts) [dB]	maximal zulässiger Maximalwert (tags / nachts) [dB]
8	103	108 / 103	118 / 113
10	95	100 / 95	110 / 105
12,5	86,5	91,5 / 86,5	101,5 / 96,5
16	79	84 / 79	94 / 89
20	71	76 / 71	86 / 81
25	63	68 / 63	78 / 73
31,5	55,5	60,5 / 55,5	70,5 / 65,5
40	48	53 / 48	63 / 58
50	40	45 / 40	55 / 50
63	33,5	38,5 / 33,5	48,5 / 43,5
80	28	38 / 33	48 / 43
100	23,5	38,5 / 33,5	58,5 / 43,5

Schädigung führen können. Die Ergebnisse können aber auf das menschliche Ohr wegen der unterschiedlichen Hörverhältnisse nicht ohne Weiteres übertragen werden.

Nur wenige Laboruntersuchungen am Menschen wurden mit relativ geringen Probandenzahlen durchgeführt. Die Expositionsdauern lagen zwischen 2 bis maximal 30 min.

Nach einer 30-minütigen Beschallung von Probanden mit 130-135 dB LSPL (10-15 Hz) konnte Taenaka (1989) keine Veränderung der Hörschwelle oder der vestibulären Funktion nachweisen. Auch in der Studie von Slarve (1975), bei der vier Probanden Infraschall von bis zu 144 dB (1-20 Hz) für 8 min ausgesetzt waren, fanden sich keine Veränderungen im Audiogramm, jedoch berichteten alle von einem schmerzlosen Druck auf den Ohren, der im Vaesalvaschen Versuch sowie nach Exposition nachließ. Eine Stunde nach zweiminütiger Beschallung mit 150-154 dB (01-20 Hz) wurden auch nach Mohr (1965) bei allen fünf untersuchten Probanden keine vorübergehenden Hörschwellenabwanderungen (TTS) festgestellt, drei Probanden berichteten über eine Vibration („Flattern“) des Trommelfells. Im Gegensatz dazu wies Jerger (1966) bei elf seiner 19 Probanden eine TTS von 10-20 dB bei 3-8 KHz nach zweimaliger dreiminütiger Exposition mit 119-144 dB (2-22 Hz) nach. Bis auf eine Ausnahme wurden diese von Schallpegeln ab 137 bis 141 dB ausgelöst.

Nach der Checkliste Arbeits- und Betriebsmedizin (Seidel, 1997) kann es ab 120 dB zu irreversiblen Schwellenverschiebungen des Gehörs (PTS) und vorübergehenden Hörschwellenabwanderungen (TTS) geringeren Ausmaßes im Tieftonbereich kommen. Ab 140 dB können Tinnitus, Nystagmus und/oder Gleichgewichtsstörungen auftreten. Bei noch höheren Expositionen (>160 dB) kommt es zum Einreißen des Trommelfells sowie Beschädigungen des Mittel- und Innenohres. Hierbei wird aber nicht auf unterschiedliche Expositionsdauern eingegangen.

In einem Review fasst Johnson (1982) seine Überlegungen bezüglich des Risikos eines Gehörschadens durch Infraschall folgendermaßen zusammen: Sehr kurzzeitige Expositionen von kontinuierlichem Infraschall sowie impulsartige Expositionen werden unterhalb von 150 dB als unschädlich angesehen, bei 24-stündigen Beschallungen sollten 118 dB nicht überschritten werden.

Extraaurale Wirkungen

In den wenigen vorliegenden Tierversuchen wurde deutlich, dass reiner Infraschall vielfältige Wirkungen auf einen Organismus haben kann. Auch hier sind keine allgemein gültigen Aussagen möglich. So traten in Tierversuchen (v. a. bei Ratten), zusammengestellt in

einer Literaturobwertung von Schust (1997), Veränderungen des Hormonspiegels, von immunologischen Parametern (autoallergische Prozesse) sowie der Magenschleimhaut-Durchblutung auf bis hin zu morphologischen und histochemischen Veränderungen des Myokards/der Leberzellen und mechanischer Zerstörung des Lungengewebes. Auch die körperliche Leistungsfähigkeit nahm ab. Die verabreichten Schallpegel lagen dabei zwischen 70 und 140 dB. Laut Schust (1997) weisen die Ergebnisse auf eine frequenz- und pegelabhängige Reaktion hin, die mit einer unspezifischen Aktivierungs- und Stressreaktion beginnt und bis hin zu chronischen pathologischen Prozessen reichen kann. Auch hier können die Resultate nicht ohne Weiteres auf den Menschen übertragen werden, vielmehr muss v. a. das zwischen Mensch und Tier sehr unterschiedliche Hörvermögen und das Schwingungsverhalten von Körper und inneren Organen berücksichtigt werden.

Die nicht sehr zahlreich vorliegenden Laborversuche am Menschen sind hinsichtlich der Fragestellung und der Methodik recht unterschiedlich, Veröffentlichungen in Russisch oder Japanisch konnten nicht berücksichtigt werden. Die Ergebnisse sind, v. a. was Schwellenwerte angeht, widersprüchlich. Richtwerte zur Vermeidung längerfristiger Gesundheitsbeeinträchtigungen können nicht gemacht werden, da bisher (bis auf eine Studie) nur Kurzzeitexpositionen untersucht wurden.

Evans (1972) untersuchte 20 Männer und fünf Frauen bei Pegeln von 130-146 dB (2-10 Hz) mit einer maximalen Expositionsdauer von 80 Sek. Bei 85% der Personen trat ein vertikaler Nystagmus auf. Zusätzlich gaben die Probanden ein „swaying“ (Schwingsgefühl) an. In einem weiteren Versuch wurde ein Auslöseschwellenwert ermittelt. Dieser lag bei 120 dB und einer Expositionsdauer von 60 Sek. Es zeigte sich, dass bei ansteigendem Pegel der Nystagmus schneller auftrat, mit den stärksten Effekten bei 7 Hz.

Zu einem anderen Ergebnis kommt Harris (1976) in seinem Review, so konnte er in eigenen Versuchen mit Intensitäten bis zu 155 dB keinen Nystagmus auslösen, bis zu 140 dB traten auch keine Gleichgewichtsstörungen auf. Er diskutiert unterschiedliche Infraschallstudien und meldet Zweifel bezüglich der verwendeten Methodik und Interpretation der in der Literatur angegebenen Auslöseschwellen für einen Nystagmus an.

In einem weiteren Versuch mit einem Leistungstest wies Evans (1972) bei Infraschallpegeln von 115-120 dB eine Zunahme der Reaktionszeit um 30-40% nach. Eine Abnahme der Sehschärfe trat nicht auf. Die Probanden klagten über Gefühle wie Lethargie oder Euphorie, ähnlich einer leichten Intoxika-

tion, die ihre Konzentration im Leistungstest störten. Die akustischen Versuchsbedingungen waren vergleichbar mit einem schnell fahrenden PKW bei geöffnetem Fenster.

Harris (1978) führte Versuchsreihen mit insgesamt 40 Probanden durch und kombinierte Infraschall (7 Hz, 125 / 132 / 142 dB) mit einem tieffrequenten Hintergrundgeräusch (110 dB) oder normalem Umgebungsgeräusch (65 dB). Hier konnte kein Einfluss auf die Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden, es traten kein subjektiver Schwindel, Desorientiertheit („drunk“) oder Sehstörungen auf. Bei 142 dB klagten sechs Personen über Vibrationsgefühle, Druck auf den Ohren und Unkonzentriertheit.

Von 28 Probanden (Ising, 1982), die 8 h unter Infraschall (110 dB, 12,5 Hz) und Kontrollbedingungen im Expositionsraum gearbeitet hatten, fühlten sich fünf subjektiv gänzlich unbeeinflusst. Von den übrigen 23 Personen waren die am häufigsten genannten Beschwerden: eine verminderte Konzentrationsfähigkeit (8), eine stärkere Müdigkeit am Ende der Sitzung (7), ein vermehrtes Gefühl der Anspannung (9), ein Druckgefühl in den Ohren (5) und Missempfindungen durch „Vibration“ (3).

Slarve (1975) exponierte vier Männer 8 min mit 144 dB (1-20 Hz), es traten Stimmmodulationen sowie Vibrationen von Thorax und Abdomen auf, die Herzfrequenz und die Atemfrequenz zeigten keine signifikanten Veränderungen.

Ising (1982) untersuchte Auswirkungen von Pegeln zwischen 70 und 125 dB (3-20 Hz) an insgesamt 100 Probanden. Die Einwirkungsdauern betragen einige Minuten bis zu einer Woche mit täglich 8 Stunden Beschallung. Übelkeit, Gleichgewichtsstörungen oder Nystagmus konnten nicht nachgewiesen werden, allerdings bewirkt Infraschall eine unspezifische Stressreaktion ähnlich wie Hörschall. Der Stresseffekt steigt nach Aussagen von Ising mit wachsendem Pegel und wachsender Frequenz. Bei der einwöchigen Belastung (3-6 / 6-12 / 12-24 Hz, 110 dB) zeigten sich in einigen physiologischen/biochemischen Parametern im Vergleich zur Kontrolle signifikante Veränderungen: ein Anstieg des diastolischen Blutdrucks bei 12-24 Hz, eine Abnahme der Atemfrequenz bei 3-6 Hz, und ein Anstieg der Adrenalinausscheidung in allen drei Bedingungen.

Die Auswirkungen auf den Blutdruck, die Herzfrequenz und Plasmakortisol untersuchte Danielsson (1985) in seinem Laborversuch mit 20 männlichen Probanden. Dabei wurden diese 20 bzw. 60 min Infraschall mit unterschiedlichen Pegeln (95, 110, 125 dB(lin)) und Frequenzen (6, 12, 16 Hz) ausgesetzt. Es zeigte sich, dass Infraschall bei gesunden Personen einen signifikanten Anstieg des diastolischen

Blutdrucks und eine Abnahme des systolischen Blutdrucks auslöst. Die Pulsrate war entweder unverändert oder leicht vermindert. Plasmakortisol blieb unbeeinflusst. Eine kurzzeitige Exposition (20 min) hat geringere Auswirkungen, nach 30 min verstärkt sich dann der Effekt. Der Anstieg des diastolischen Blutdrucks erreichte bei 16 Hz (125 dB) ein Maximum mit einem durchschnittlichen Anstieg von 8 mm Hg bei 30-minütiger Exposition. Der Blutdruckanstieg wurde dabei durch eine periphere Vasokonstriktion verursacht. Der Autor geht davon aus, dass eine langfristige chronische Exposition bei prädisponierten Individuen eine Rolle bei der Entwicklung einer essenziellen Hypertonie spielen könnte.

Literatur:

Danielsson A, Landström U:
Blood pressure changes in man during infrasound exposure. Acta med scand 1985; 217: 531-535

Evans MJ, Tempest W:
Some effects of infrasonic noise in transportation. Journal of sound and vibration 1972; 22(1): 19-24

Harris CS, Johnson DL:
Effects of infrasound of cognitive performance. Aviation, space and environmental medicine 1978; 49: 582-586

Ising H, Schwarze C:
Infraschallwirkungen auf den Menschen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 1982; 29: 79-82

Jerger J, Alford B, Coats A:
Effects of very low frequency tones on auditory threshold. Journal of speech and hearing research 1966; 9: 150-160

Johnson DL:
Hearing hazards associated with infrasound. In: New perspectives on noise-induced hearing loss / Havernik RP, Henderson D, Salvi R ed. - New York: Raven press, 1982; 407-21

Karpova NI, Alekseev SV, Erokhin VN, Kadykina EN, Reutov OV:
Early response of the organism to low-frequency acoustical oscillations. Noise and vibration bulletin 1970; 11: 100-103

Lim DJ, Dunn DE, Johnson DL, Moore TJ:
Trauma of the ear from infrasound. Acta-Otolaryngol 1982; 94(3-4): 213-31

Mohr GC, Cole JN, Guild E, von Gierke HE:
Effects of low frequency and infrasonic noise on man. Aerospace medicine 1965; 36 (9): 817 - 824

Schust M:
Biologische Wirkungen von vorwiegend luftgeleitetem Infraschall. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Wirtschaftsverlag NW, ISSN 1433-2116, ISBN 3-89429-839-1

Seidel H-J, Bittinghofer PM:
Checkliste Arbeits- und Betriebsmedizin – Stuttgart, New York: Thieme 1997; 306.

Slarve RN, Johnson DL:
Human whole-body exposure to infrasound. Aviat-Space-Environ-Med 1975; 46 (4 Sec 1): 428-431

Taenaka K:
nur Abstract: A study on the effect of infrasound (Japanisch). Nippon-Jibiinkoka-Gakkai-Kaiho 1989; 92(9): 1399-1415

TA Lärm - Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 26. August 1998 (GMBl. 1998 S. 503)

Zur Person



Silvester Siegmann

Er ist „von Hause aus“ Diplom-Mineraloge (Kristallograph) und wechselte nach drei Jahren bei der DMT in Bochum 1995 ins Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. 1997 schloss er die Ausbildung zum Sicherheitsingenieur an der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin ab und ist seit 1999 qualitätszertifiziert durch die Gesellschaft für Qualität im Arbeitsschutz (GQA). Seit 2000 ist er in der Kursleitung der „Weiterbildung Arbeitsmedizin“ der Nordrheinischen Akademie für ärztliche Fort- und Weiterbildung der Ärztekammer Nordrhein und übernahm 2005 die Schriftleitung für den Bereich Arbeitssicherheit der Fachzeitschrift „Praktische Arbeitsmedizin“. Er ist Absolvent des ersten Jahrgangs des Studiengangs „Betriebssicherheitsmanagement“ an der TFH Georg Agricola zu Bochum und ist der Vorsitzende des „Arbeitskreises Betriebssicherheitsmanagement (AK BSM)“.

Seine Forschungsschwerpunkte sind Lärm mit Schwerpunkt Impulslärm, Gefährdungsbeurteilungen, Arbeitsschutzmanagementsysteme, Prävention.

Silvester Siegmann
Diplom-Mineraloge,
Sicherheitsingenieur,
M. Sc. Betriebssicherheitsmanagement

Institut für Arbeitsmedizin
und Sozialmedizin,
Universitätsklinikum Düsseldorf
Universitätsstr. 1, D-40225 Düsseldorf
E-Mail: siegmann@uni-duesseldorf.de

Zur Person



Dipl.-Ing. Uwe Nigmann

Versorgungsingenieur im betrieblichen Umweltschutz der OTTO FUCHS KG, Meinerzhagen im Bereich der technischen Akustik und des Immissions-schutzes. Langjährige Erfahrung im Bereich der Erstellung von Sachverständigengutachten und Schallmessungen in BImSchG-Genehmigungsverfahren.