

worden. So wird in Gebieten mit vorwiegendem Wohncharakter die zumutbare Strassenverkehrslärmbelastung tagsüber mit einem L_{eq} von 60 dB(A) angegeben und nachts mit einem L_{eq} von 50 dB(A). Setzt man in Gebieten mit vorwiegendem Wohncharakter die tagsüber und nachts zumutbaren Betriebslärmbelastungen damit fest, dass die Anteile an stark gestörten Personen tagsüber und nachts in der gleichen Grössenordnung sein sollen wie für die tagsüber und nachts zumutbaren Strassenverkehrslärmbelastungen, so ergibt das (nach Tab. 4) für die zumutbare Betriebslärmbelastung tagsüber einen L_{eq} von ungefähr 50 dB(A) und nachts einen L_{eq} von ungefähr 40 dB(A).

Zusammenfassung

In der Umgebung von fünf Industrie- und Gewerbeanlagen wurden die Lärmimmissionen gemessen und mittels schriftlicher Befragung die Auswirkungen derselben auf die dort wohnenden Menschen erfasst.

Es zeigte sich, dass gehäufte Störungen und Reaktionen bei Betriebslärmimmissionen tagsüber ab einem L_{eq} von ungefähr 50 dB(A) auftreten und nachts ab einem L_{eq} von ungefähr 40 dB(A).

Résumé

Immissions de bruit des entreprises industrielles

Dans les environs de cinq entreprises industrielles, on a mesuré les immissions de bruit, et les habitants ont été questionnés sur les effets causés par le bruit.

Les résultats montrent que les troubles et réactions augmentent à partir d'une valeur L_{eq} située environ à 50 dB(A) pour le jour et à 40 dB(A) environ pour la nuit.

Summary

Noise Immissions of Industrial Plants

In the surroundings of five industrial plants noise immissions were measured, and people were asked by questionnaire about the effects caused by noise.

The results show that increased disturbances and reactions to industrial noise immissions occur at daytime with an L_{eq} of about 50 dB(A) and at nighttime with an L_{eq} of about 40 dB(A).

Literatur

- [1] Wehrli, B., Nemecek, J., Turrian, V., Hofmann, R., und Wanner, H. U., Auswirkungen des Strassenverkehrslärms in der Nacht, Kampf dem Lärm 25, 138-149 (1978).

Hörschäden durch Impulslärm

Beat W. Hohmann, Akustik-Labor, Institut für Fernmeldetechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

1. Einführung

Das menschliche Gehör weist Eigenschaften auf, die sich auch mit modernster Technologie nur unvollkommen nachbilden lassen: In einem Frequenzbereich von drei Dekaden können Schallereignisse verarbeitet werden, deren Intensität sich bis zu $1:10^{12}$ verhält. Dazu kommen eine schmalbandige Frequenzanalyse und die Möglichkeit, die Schallquelle in Seite und Höhe zu orten.

Diese Fähigkeiten sind allerdings auf die Schallsignale einer natürlichen Umgebung ausgerichtet, während die Beanspruchung durch manche Geräusche unserer technisierten Umwelt als Missbrauch dieses hochempfindlichen Sinnesorgans gewertet werden muss.

Mit dem Ausdruck «ohrenbetäubender Lärm» ist leider meist nur die Idee von Trommelfellschäden durch extreme Schallereignisse verknüpft, nicht aber die Vorstellung, dass das Gehör durch dauernde Einwirkung von Lärm weit unter der Schmerzschwelle Schaden nehmen kann, was vom Betroffenen erst zu spät wahrgenommen wird – dann nämlich, wenn sich der irreparable Hörverlust in der Alltagskommunikation hindernd auswirkt.

Nach einer Schätzung der SUVA sind in der Schweiz über 250000 Arbeitnehmer am Arbeitsplatz gehörgefährdendem Lärm ausgesetzt. Soweit es sich dabei um Dauerlärm handelt, kann es genügen, den frequenzbe-

werteten Pegel und die Einwirkungszeit festzustellen, um die zu erwartenden Gehörschäden (statistisch) mit akzeptabler Genauigkeit vorauszusagen (ISO 1999-1975). In der Schweiz gilt – ähnlich wie in den meisten Industrieländern – ein über die Arbeitszeit energetisch gemittelter, mit dem Filter «A» bewerteter Dauerschallpegel (L_{eq}) von 87 dB als Grenzwert, der ohne Anwendung eines Gehörschutzmittels noch zulässig ist.

Für Impulslärm hingegen existieren noch keine allgemein anerkannten Kriterien, um schädliche und unschädliche Schallereignisse zu trennen.

Für diese Arbeit wurde deshalb ein mobiles Messgerät entwickelt, das am Arbeitsplatz geeignete Kennwerte des Impulslärms ermittelt und speichert. Diese Kennwerte wurden auf Grund der Eigenschaften des menschlichen Ohres und im Hinblick auf die Vergleichbarkeit mit bisher verwendeten oder vorgeschlagenen Messmethoden ausgewählt.

Die so gewonnenen Impulslärmdaten von Industriearbeitsplätzen werden dann mit den entsprechenden Hörschadendaten aus dem Audiomobilprogramm der SUVA korreliert, um Schädlichkeitskriterien für Impulslärm abzuleiten.

Das Projekt wird im Auftrag der SUVA am Akustiklabor, Institut für Fernmeldetechnik, an der ETH Zürich durchgeführt.

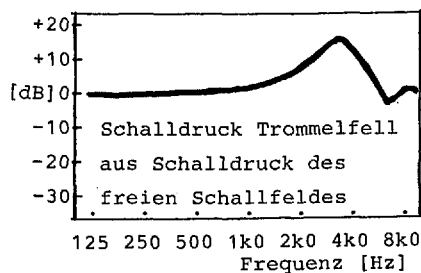


Abb. 2.1. Aussenohr

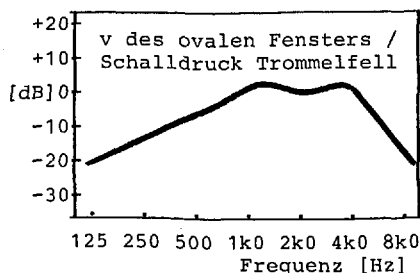


Abb. 2.2. Mittelohr

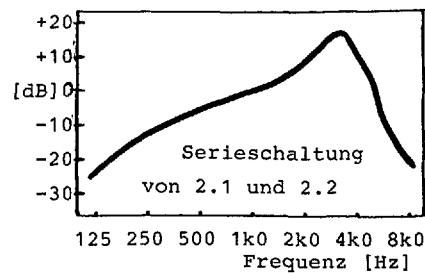


Abb. 2.3. (vgl. Text)

2. Das Ohr als Lärmempfänger

2.1 Verhalten im Frequenzbereich

Lärmschäden entstehen fast ausnahmslos im Innenohr, doch muss der Schall in jedem Fall zuerst Aussen- und Mittelohr passieren, deren Frequenzverläufe das Spektrum des Lärms verändern.

Die Knochenleitung spielt bei intaktem Mittelohr keine Rolle [15].

Durch die Serieschaltung des Aussenohrs, dessen Frequenzgang (Abb. 2.1) vor allem durch die Gehörgangresonanz bei rund 3 kHz bestimmt wird [1, 2, 3], mit dem Mittelohr (Abb. 2.2), das den Bereich von 1 bis 4 kHz am besten überträgt [4], entsteht die Übertragungsfunktion vom Schalldruck im freien Schallfeld zur Geschwindigkeit der vom ovalen Fenster verschobenen Innenohrflüssigkeit (Abb. 2.3).

Die Übereinstimmung mit dem Frequenzverlauf der Ohrempfindlichkeit (Hörschwelle nach ISO R 226) legt den Schluss nahe, dass die Haarzellen der verschiedenen Frequenzgebiete der Cochlea ähnlich empfindlich sind – auch in bezug auf Überlastungsschäden, denn Hörschäden treten erfahrungsgemäss zuerst im Bereich um 4 kHz (C_5 -Senke) auf, wo bei flachem Lärmspektrum am meisten Energie im Innenohr eintrifft.

Frequenzanalysen sind, um den Ohreigenschaften im gefährdeten Bereich Rechnung zu tragen, mit zur Mittenfrequenz proportionaler Bandbreite, zum Beispiel in Terzbändern, durchzuführen [16].

2.2 Verhalten im Zeitbereich

Messungen haben ergeben, dass auch bei ideal steilem Schalldruckanstieg im freien Schallfeld (zum Beispiel Anstiegszeit eines Waffenknalls von 0,1 s [14]) am Trommelfell nicht mit Anstiegszeiten unter 25 s zu rechnen ist [5]. In derselben Grössenordnung liegt die Anstiegszeit des ovalen Fensters, die aus dem Frequenzgang abgeschätzt werden kann. Für extreme Schalldruckpegel, die im Innenohr auf mechanischem Weg (zu grosse Auslenkung der Basilarmembran) Schäden verursachen, ist also nur diese Begrenzung der Anstiegszeit wirksam. Der «kritische Pegel» für diese Belastung soll nach neuesten Schätzungen zum Beispiel für ein abklingendes 1kHz-Signal bei etwa 145 dB liegen, der Frequenzverlauf entspricht weitgehend dem invertierten Frequenzgang von Aussen- und Mittelohr [6].

Für die Lautstärkeempfindung ist eine wesentlich grössere Zeitkonstante wirksam: zwischen 20 und 100 ms. Kürzere Impulse ergeben also einen im Vergleich zur Schädlichkeit zu geringen Lautstärkeindruck. Noch etwas höher liegt die Ansprechzeit des Stapedius-Reflexes, der bei Pegeln über 85 dB(A) die Übertragung im Mittelohr für Frequenzen unter 1 kHz verschlechtert; gegen Einzelimpulse bietet er also keinen Schutz. Seine Abklingzeit nach Impulsanregung beträgt etwa 1 s. Nur Impulse, die rascher nachfolgen, werden abgeschwächt.

Schallereignisse über etwa 85 dB(A) führen zu einer Überlastung des Innenohres, einer Störung des metabolischen Gleichgewichts, die sich zunächst als temporäre Höreinbusse (temporary threshold shift TTS) auswirkt. Über den Zusammenhang zwischen TTS und bleibendem Hörverlust (PTS) herrscht noch keine Einigkeit: Möglicherweise summiert sich die bei der nächsten Belastung noch nicht zurückgebildete TTS, oder der permanente Hörverlust ergibt sich aus dem Integral der TTS.

Als bestes Mass zur Abschätzung dieser Art von Belastung gilt die über die Arbeitszeit gemittelte Schallenergie, ausgedrückt als äquivalenter Dauerschallpegel L_{eq} . Ob dieses Kriterium auch für Impulslärm übernommen werden kann, ist umstritten. Möglicherweise ist auch der Einbezug der Rücklauf-«Schleppe», wie sie für die Zeitkonstante «Impuls» genormt ist, in die Energieintegration sinnvoll, weil damit Impulse, für die der Stapedius-Reflex unwirksam ist, stärker gewichtet werden (VDI 2058, Blatt 2, [18]).

3. Konzept des Messgerätes

Da bisher Felddaten meist nur unter Verwendung jeweils einer Messmethode gesammelt wurden, eine nachträgliche Umrechnung der Werte zu Vergleichszwecken aber kaum möglich ist, werden im ETH/SUVA-Impulslärm-Messgerät die meisten der vorgeschlagenen Messmethoden parallel auf dasselbe Mikrofonsignal angewendet. Es entsteht ein kombinatorisches System von verschiedenen Zeit- und Frequenzbewertungen, wie es in Tabelle 3.1 dargestellt wird. Die Literaturverweise geben die Autoren an, von denen die betreffende Messmethode vorgeschlagen wurde.

Zeitbewertung	Maximum Peak 20s	Maximum Impuls 35ms/3s	Maximum Fast 125 ms	Maximum Slow 1 s	Energie L_{eq} —	Energie L_{eq} —
Frequenzbewertung						
A-Filter	x [7]	x [19]	x	x	x[12,17]	x[13,18]
C-Filter		x[10,11]				x
A*D-Filter linear	x[(6)] x [8]	x	x		x[(9)]	x
21 Terzbänder		x			x	

x = im Impulslärmmessgerät integrierte Auswertungen

Tab. 3.1

Weitere Merkmale des Impulslärm-Messgerätes:

– Der Schalldruckverlauf wird mit einem Kondensator-Messmikrofon ($\frac{1}{4}$ " oder $\frac{1}{8}$ ") erfasst.

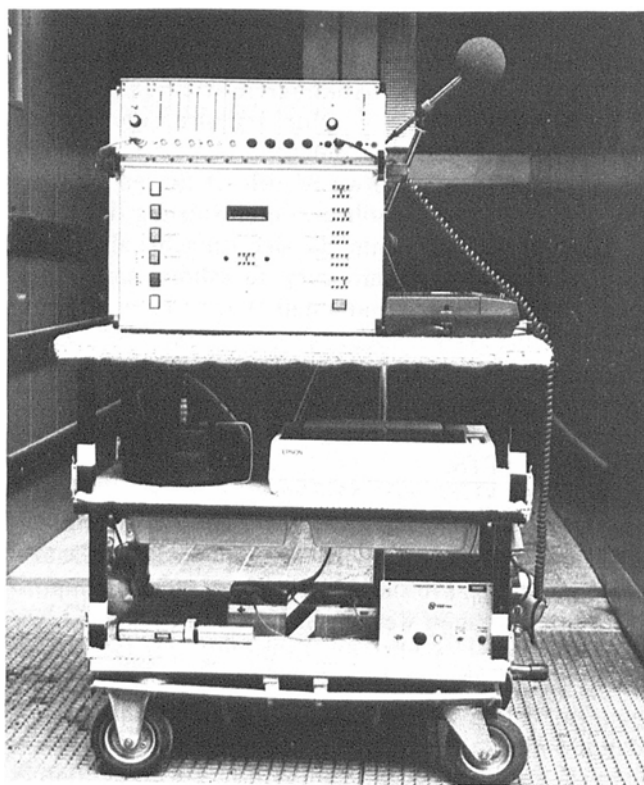


Abb. 3.2

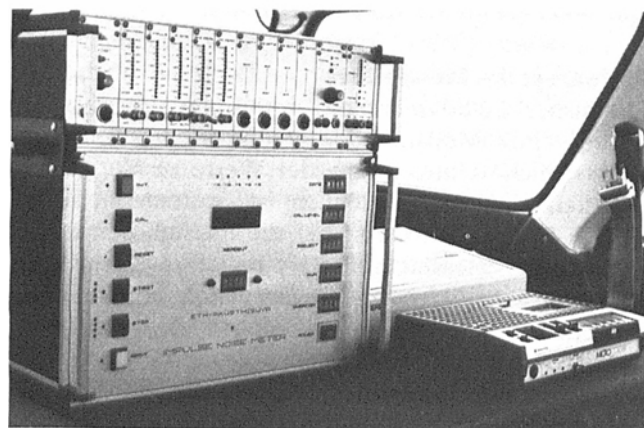


Abb. 3.3

- Alle Maximalwerte werden pro Viertel der Messzeit bestimmt.
- Zusätzlich wird die Wirkzeit der höchsten Impulse nach Pfander [8] ermittelt.
- Die Messzeit ist von 6 Sekunden bis 16 Stunden wählbar.
- Das A*D-Filter (Serieschaltung von A- und D-Filter) dient als Näherung für den Frequenzgang von Aussen- und Mittelohr.
- Mit « L_{eq} » wird die Energiemittelung inklusive Rücklaufzeit der Impuls-Zeitkonstante (3 s) bezeichnet. Das entspricht dem Beurteilungspegel nach VDI 2058, Blatt 2.
- Das Eingangssignal wird in total 32 Analogkanälen parallel behandelt.

Der 16-Bit-Mikroprozessor errechnet pro Messung rund 160 Werte, die nach Ablauf der Messzeit oder als Zwischenresultate zur sofortigen Kontrolle ausgedruckt und/oder auf dem Datenkassettengerät abgespeichert werden, so dass die weitere Verarbeitung auf dem ETH-Computer geschehen kann.

Die ganze Messausrüstung (Abb. 3.2) wird ab 12-Volt-Batterie betrieben, was die Beweglichkeit und die Störsicherheit bei Messungen in der Industrie verbessert und für Messungen von Lärmquellen im Freien den Betrieb der Geräte im Kombiwagen (Abb. 3.3) zulässt.

4. Messprogramm und erste Resultate

Das Programm sieht Messungen in Giessereien, Stanzerereien, Kesselschmieden, Gesenkschmieden, in Stahlbaubetrieben, auf Baustellen (Bolzensetzgeräte!), in der Textilindustrie, in Flaschenabfüllbetrieben usw., aber auch an Waffen vor.

Bei den bisher durchgeführten Messungen hat sich die Ausrüstung unter den verschiedensten Umweltbedingungen, auch bei kondensierender Luftfeuchtigkeit, bewährt.

Messungen an Sturmgewehren unter Schiessstandbedingungen ergaben Spitzenwerte von 165 dB und Pfander-Wirkzeiten von 0,6 bis 1 ms, was sich mit den Resultaten der oszillographischen Auswertung (Zeitbedarf pro Impuls: rund 30 Minuten) deckt. Wegen dieser kurzen Impulsdauer erreicht der Maximalwert mit der Zeitkonstante «Impuls» (35 ms) «nur» 142 dB. Auf 8 Stunden verteilt, entspricht die auf das

(ungeschützte) Ohr eines Schützen einwirkende Schallenergie einem L_{eq} von ungefähr 104 dB, das heisst, ohne Gehörschutz wird auch der Grenzwert für Dauerlärm wesentlich überschritten. Der VDI-Beurteilungspegel liegt für diese Situation nochmals mehr als 13 dB höher.

Als Mass für die Impulshaltigkeit eines Geräusches ist der Crestfaktor, also die Differenz zwischen Spitzenpegel und L_{eq} vorgeschlagen worden. In der Metallindustrie wurden Crestfaktoren zwischen 18 und 44 dB ermittelt – die Spitzenpegel der bisherigen Messungen lagen bei maximal 145 dB –, während an einem Presslufthammer im Strassenbau ein Crestfaktor von 27 dB gemessen wurde.

Die Differenz zwischen L_{eq} und dem VDI-Beurteilungspegel ist vor allem durch die Impulsfolgefrequenz bestimmt. Für den Lärm einer Revolverstanmaschine bei der Bearbeitung von Chromnickelstahl beträgt diese Differenz 11 dB. Zum Vergleich: Die rasche Impulsfolgefrequenz in Webereien lässt die Differenz unter 1 dB absinken.

Zusätzlich zum erwähnten Messprogramm wird auch versucht, jene reproduzierbaren Impulsschallereignisse auszumessen, die zu einem bleibenden Hörschaden geführt haben, der dann als Schadenfall der SUVA angezeigt worden ist.

Zusammenfassung

Methoden zur Beurteilung der Gehörschädlichkeit von Dauerlärm sind bekannt und in Normen festgelegt. Für Impulslärm hingegen existieren noch keine anerkannten Kriterien, um schädliche und unschädliche Schallereignisse zu trennen.

Deshalb wurde ein mobiles Messgerät entwickelt, das am Arbeitsplatz geeignete Kennwerte des Impulslärms ermittelt und speichert. Diese Kennwerte wurden aufgrund der Eigenschaften des menschlichen Ohres und im Hinblick auf die Vergleichbarkeit mit bisher verwendeten oder vorgeschlagenen Messmethoden ausgewählt. Unter anderem wird der Frequenzgang von Aussen- und Mittelohr elektrisch nachgebildet, um das Signal am Eingang des Innenohres – wo die Lärmhörschäden auftreten – zu erfassen.

Die Impulslärmdaten von Industriearbeitsplätzen werden mit den entsprechenden Hörschadendaten aus dem Audiomobilprogramm der SUVA korreliert, um so Schädlichkeitskriterien für Impulslärm abzuleiten.

Résumé

Dégâts auditifs provoqués par bruits impulsifs

Pour évaluer la nocivité des bruits continus, des méthodes sont connues et fixées dans les normes internationales. Au contraire, il n'existe pas encore de critères généralement acceptés pour discerner les bruits impulsifs nocifs des bruits non dangereux.

C'est la raison pour laquelle un appareil mobile a été développé pour mesurer et enregistrer les paramètres du bruit à l'emplacement de travail. Le choix de ces paramètres est basé sur les caractéristiques de l'oreille humaine et doit d'autre part assurer la compatibilité avec les méthodes déjà utilisées ou proposées. Par exemple, la courbe de réponse en fonction de la fréquence de l'oreille externe et de l'oreille moyenne a été simulée par un filtre électrique pour apprécier le signal entrant par la fenêtre ovale et conduisant aux dégâts permanents dans la cochlée.

Le but est de trouver une corrélation des données des déficits auditifs mesurés par la CNA au moyen des audiomobiles, pour obtenir des critères de danger du bruit impulsif.

Summary

Hearing Damage Caused by Impulse Noise

Methods for judging the danger of hearing impairment caused by continuous noise are known and have been included in standards. There are no equally accepted criteria to distinguish between dangerous and harmless impulsive noise. For this reason, a mobile measuring system has been developed, that can determine and record parameters of impulsive noise in industrial environments. The parameters were chosen with respect to the properties of the human ear, and to provide an intercomparison of currently used or proposed measuring methods. In one case, the frequency response of the outer and middle ear is simulated electrically in order to evaluate the signal that would reach the inner ear, where damage usually occurs.

The data collected at the operators position of industrial machines will be correlated with the corresponding audiometric evaluation of hearing damage conducted by SUVA (Swiss National Insurance Fund), in order to find damage risk criteria for impulsive noise.

5. Literatur

- [1] Wiener, F. M., und Ross, D. A., The Pressure Distribution in the Auditory Canal in a Progressive Sound Field, Journal of the Acoustical Society of America 18 (1946).
- [2] Teranishi, R., und Shaw, E. A. G., External Ear Acoustic Models with simple Geometry, Journal of the Acoustical Society of America 44/1 (1968).
- [3] Mehrgardt, S., Die Übertragungsfunktion des menschlichen Aussenohres. . . . Kongressbericht DAGA 1975.
- [4] Stirnemann, A., Impedanzmessung und Netzwerkmodell zur Ermittlung der Übertragungseigenschaften des Mittelohres, Dissertation ETH Zürich Nr. 6633 (1980).
- [5] Price, G. R., Transformation Function of the External Ear in Response to Impulsive Stimulation, Journal of the Acoustical Society of America 51/1 (1974).
- [6] Price, G. R., Implications of a Critical Level in the Ear for Assessment of Noise Hazard at High Intensities, Journal of the Acoustical Society of America 69/1 (1980).
- [7] Brüel, P. V., Do We Measure Damaging Noise Correctly? Brüel & Kjør Technical Review 1 (1976).
- [8] Pfander, F., Das Knalltrauma (Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1975).
- [9] Stevin, G. O., Analyse spectrale des bruits impulsifs en vue de la protection de l'audition, Revue d'acoustique No. 52 (1980).
- [10] Suva, Gehörschädigender Lärm am Arbeitsplatz, Schweiz. Blätter für Arbeitssicherheit Nr. 113 (1973/74).
- [11] Dieroff, H. G., Lärmschwerhörigkeit (Verlag Urban und Schwarzenberg, München, Wien, Berlin 1975).
- [12] Martin, A., The Equal Energy Concept applied to Impulse Noise. Effects of Noise on Hearing (Raven Press, New York 1976).
- [13] Peters, Th., Rein, H., und Wohlfarth, W., Arbeitsmedizinische und messtechnische Probleme des Impulslärms, Zbl. Arbeitsmedizin, Bd. 30, 6 (1980).
- [14] Rathe, E. J., Probleme der Messung und Beurteilung von Schiesslärm, Bericht ETH Zürich (1969).
- [15] Nixon, G. W., und v. Gierke H. E., Experiments on the Bone Conduction Threshold in a Free Sound Field, Journal of the Acoustical Society of America 31/8 (1959).
- [16] Furrer, W., Die Akustik des Knalls, Schweiz. Archiv für ang. Wissenschaft und Technik 12/7 (1946).
- [17] Committee on Hygiene Standards of the British Occup. Hyg. Soc. Hygiene Standard for Impulse Noise, Ann. occup. Hyg., Vol. 19 (1976).
- [18] Bress, H.-J., Einheitliche Beurteilung von Knallen und Dauergeräuschen anhand des energetisch gemittelten Impulsschallpegels; Kurzzeitlärm; Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung; Schriftenreihe Arbeitsschutz Nr. 12 (1975).
- [19] Frick, N., und Geinoz D., Impulsschallbewertung aufgrund einfach messbarer Immissionsgrössen, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 27 (1980).