

Die Einwirkung des Lärms auf den Menschen

A. Gilgen

Artikel eingegangen am 18. Januar 1971

Zusammenfassung

Die Störwirkung eines Lärms ist von vier Komponenten abhängig: vom Lärmpegel, von der Dauer und der Häufigkeit der einzelnen Lärmereignisse und von der individuellen Empfindlichkeit.

Bei Menschen, die in Industrie und Gewerbe während langer Zeit starkem Lärm ausgesetzt sind, kann Lärm-schwerhörigkeit auftreten. Der Umgebungslärm (Flug-lärm, Motorfahrzeuglärm usw.) führt vor allem zu Schlafstörungen, Störung der Sprachverständlichkeit, Störung von Radiohören und Fernsehen und subjektiver Belästigung. Die körperliche Leistungsfähigkeit wird erst bei starkem Lärm beeinträchtigt, die geistige dagegen schon bei geringem. Vegetative Reizwirkungen wie Erhöhung des Blutdruckes und Abnahme der Tätigkeit der Verdauungsorgane sind nachgewiesen und erhöhen den Stöbcharakter des Lärms. Trotzdem gibt es für das Auftreten von körperlichen und seelischen Krankheiten bis jetzt nur Hinweise, aber noch keine Beweise.

I. Die Komponenten der Lärmbelastung

Die durch den Lärm hervorgerufene Störwirkung ist von verschiedenen Komponenten abhängig, wobei diese zum einen Teil im Charakter des Lärms liegen, zum anderen Teil bei den Bedingungen des den Lärm erleidenden Menschen zu suchen sind. Als wichtigste Faktoren haben zu gelten:

- Schallpegel oder Lärmpegel
- Dauer des einzelnen Lärmereignisses
- Häufigkeit der Lärmereignisse
- subjektive Beurteilung und individuelle Empfindlichkeit.

II. Schallpegel oder Lärmpegel

1. Schalldruck bzw. Schalldruckpegel

Unter dem Schalldruck versteht man den Wert der dem Atmosphärendruck beim Auftreten von Schall überlagerten Druckschwankungen. Der Schalldruck wird meist in Mikrobar (μb) gemessen (1 Mikrobar ist ungefähr gleich einer millionstel Atmosphäre). Da der Schall-

druck normalerweise um mehrere Zehnerpotenzen schwanken kann – das menschliche Ohr nimmt Druckschwankungen im Bereich von $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{b}$ bis ungefähr $200 \mu\text{b}$ wahr –, ist es zweckmäßig, diesen weiten Bereich durch die Anwendung eines logarithmischen Maßstabes zu raffen. Man bezeichnet dieses logarithmische Maß als Dezibel (dB) und nennt den damit charakterisierten Wert den *Schalldruckpegel* oder abgekürzt den *Schallpegel*. Formelmäßig wird der Schallpegel folgendermaßen definiert:

$$L = 20 \log \frac{p_0}{p},$$

wobei

L den Schallpegel in dB,

p den am Meßort herrschenden Schalldruck in μb ,

p_0 den international festgelegten Bezugsschalldruck als $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{b}$

darstellen.

Nach dieser Definition beträgt der Schallpegel für einen Ton von 1000 Hz in der Nähe der Hörschwelle 0 dB.

2. Frequenzspektrum

Bei vielen akustischen Problemen genügt es, den Schallpegel ohne Berücksichtigung seiner Frequenzzusammensetzung anzugeben. Man spricht dann vom «Gesamtschallpegel» oder einfach vom «Schallpegel». Bei genaueren Untersuchungen ist es aber oftmals erwünscht, die Frequenzzusammensetzung zu kennen, da tiefe Töne subjektiv als wesentlich weniger laut empfunden werden als hohe Töne.

Das menschliche Ohr nimmt Töne in einem Frequenzbereich zwischen 16 und 20 000 Hertz (Hz), also 16 bis 20 000 Schwingungen pro Sekunde, wahr, umfaßt also zwischen den tiefsten und den höchsten Tönen einen Bereich von nahezu 9 Oktaven. Schall von

weniger als 16 bzw. von mehr als 20 000 Hz wird als Infraschall oder Ultraschall bezeichnet. Eine genaue Grenze zwischen hörbaren und unhörbaren Schallschwingungen gibt es nicht, vielmehr ist sowohl nach tiefen als auch nach hohen Tönen hin ein allmählicher Übergang vorhanden, der sowohl von physikalischen (Schallamplitude) als auch von physiologischen Faktoren (z.B. Alter des Menschen) abhängig ist.

3. Phon

Die Tatsache, daß tiefer Schall weniger laut empfunden wird als hoher, daß also *bei verschiedener Frequenzzusammensetzung trotz gleichem Gesamtschallpegel eine unterschiedliche Hörempfindlichkeit* hervorgerufen werden kann, gab Anlaß zur Schaffung der Einheit *Phon* als Maß für die *Lautstärke*. Dabei ist man von der subjektiv empfundenen Lautstärke bei einem Ton von 1000 Hz ausgegangen und hat den Schallpegel bestimmt, den man bei tieferen und höheren Tönen anwenden muß, um die Empfindung gleicher Lautstärke hervorzurufen. Die Schwäche der Phonskala liegt darin, daß die Hörvergleiche mit reinen Tönen durchgeführt werden. Denn es hat sich gezeigt, daß die Lautstärke eines im täglichen Leben vorkommenden Geräusches sich nicht mit der an reinen Tönen gewonnenen Phonskala zuverlässig charakterisieren läßt. Man müßte darum für jedes Geräusch einen Hörvergleich mit einem 1000-Hz-Ton durchführen, um die Lautstärke des Geräusches in Phon richtig angeben zu können. Dies ist praktisch natürlich nicht realisierbar. Darum hat man das Phon als Maß für die Lautstärke von Geräuschen wieder verlassen.

4. Bewertete Lärmpegel (= sound level)

Nachdem sich das Phon als unbefriedigend erwiesen hat, andererseits aber eine der menschlichen Hörempfindlichkeit angepaßte

Lärmmessung erwünscht ist, haben sich die sogenannten *bewerteten Lärmpegel* als Maß für die Lautstärke gut bewährt. Dabei handelt es sich um eine Messung des Gesamtschallpegels, bei welcher jedoch die tiefen und die ganz hohen Frequenzen weniger gewichtet werden. Gewisse Frequenzen im mittleren Bereich dagegen werden entsprechend ihrer wahren Stärke oder sogar etwas stärker bewertet.

Man spricht von dB(A)-, dB(B)- oder dB(C)-Kurven. Die Bewertung ist am gebräuchlichsten nach der dB(A)-Kurve, da sich bei ihr der gemessene Lärmpegel fast proportional zu der subjektiven Hörempfindung verhält.

5. Nomenklatur

Es wäre wünschenswert, wenn der Begriff *Schalldruckpegel* oder *Schallpegel* nur verwendet würde, wenn es sich um Messungen des unbewerteten Pegels (gemäß 1.) handelt. Dagegen soll bei allen Pegelmessungen, bei denen eine Anpassung an die Hörempfindlichkeit des Menschen vorgenommen wird, der Begriff *Lärmpegel* verwendet werden.

III. Dauer des einzelnen Lärmereignisses

Am einfachsten ist die Geräuschkdauer bei kontinuierlichem Lärm mit gleichbleibendem Schallpegel zu bewerten. Auch bei diskontinuierlichem Lärm, der sofort mit dem maximalen Schallpegel einsetzt und ebenso abrupt abbricht, kann die Geräuschkdauer recht einfach erfaßt werden. Dagegen bereitet diskontinuierlicher Lärm, der bei Null beginnt, dann langsam anschwillt, ein Maximum erreicht und wieder abnimmt, erhebliche Schwierigkeiten, weil dabei entschieden werden muß, von welcher Pegelhöhe an beim Anschwellen die Lärmdauer berücksichtigt werden soll. Auch beim Abschwellen des Lärms stellt sich die gleiche Frage nochmals. Ähnlich verhält es sich bei kontinuier-

lichem Lärm mit wesentlichen Schwankungen des Schallpegels.

Untersuchungen von *Kryter* und *Pearsons* haben ergeben, daß zwei Geräusche, von denen das eine nur halb so lange dauert wie das andere, von Versuchspersonen als gleich störend empfunden werden, wenn das kürzere einen um rund 4,5 dB höheren Schallpegel aufweist. Diese Differenz gilt vor allem bei hohen und mittleren Schallpegeln, um dann später langsam abzusinken. Bei Schallpegeln im Bereich von 70 dB ist noch mit einer Differenz von ungefähr 4 dB zu rechnen.

Bei diskontinuierlichem Lärm mit An- und Abschwellungen hat es sich als vorteilhaft erwiesen, für die Geräuschkdauer diejenige Zeit festzulegen, während welcher der Lärm um 10 dB unter dem Maximalpegel des betreffenden Lärmereignisses liegt.

IV. Die Häufigkeit der einzelnen Lärmereignisse

Die Störwirkung einer Lärmquelle ist stark abhängig von der Häufigkeit der Lärmereignisse. Dies zeigt sich am eindrucklichsten beim Fluglärm und beim Straßenverkehrslärm, bei denen eine Senkung des durchschnittlichen Lärmpegels des einzelnen Ereignisses durch größere Häufigkeit zunichte gemacht werden kann und gemacht wird.

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, daß eine Verdoppelung der Zahl der Lärmereignisse einer Zunahme des durchschnittlichen Spitzenlärmpegels um 3 bis 4,5 Einheiten dB(A) entspricht. Geht man nämlich von schallenergetischen Überlegungen aus, so erhält man den Wert von 3 Einheiten. Dagegen hat *McKennell* [1, 2] bei einer soziopsychologischen Untersuchung des Londoner Flughafens Heathrow gefunden, daß eine Verdoppelung der Zahl der Lärmereignisse einer Erhöhung des durchschnittlichen Spit-

zenlärmpegels um 4,5 Einheiten (bei seiner Untersuchung handelt es sich um PNdB) gleichkommt.

V. Subjektive Beurteilung und individuelle Empfindlichkeit

Aus allen Untersuchungen geht hervor, daß die subjektive Beurteilung von Lärm starken individuellen Schwankungen unterworfen ist. Der Lärm wird meist als unerwünschter Schall definiert. *Hawell* [4] hat diese Definition insofern ausgeweitet, als er sagt, daß jeder Schall dann, und nur dann, als lästig empfunden werde, wenn er von der Bezugsperson als nicht mit ihren augenblicklichen Intensionen übereinstimmend erlebt wird. Entscheidend für die Lästigkeitsempfindung des Lärms bezeichnet *Hawell* [5] außer der Lautstärke die folgenden vier Parameter:

«Persönlichkeit» (zum Beispiel gut gelaunt, schlecht gelaunt)

«Situation» (zum Beispiel Arbeit, Erholung, Schlaf)

«Tätigkeit»

«Spezielle Eigenart des Geräusches».

Es ergeben sich somit nicht nur Schwankungen der Lärmempfindlichkeit von Individuum zu Individuum; auch ein einzelner Mensch kann ein und denselben Lärm unter verschiedenen Bedingungen ganz unterschiedlich bewerten.

VI. Beeinträchtigung der Gesundheit und Belästigung durch Lärm

1. Die Wirkungen des Lärms auf den Menschen

a) Schwerhörigkeit

Die Lärmschwerhörigkeit stellt eine besondere Form der Beeinträchtigung der Gesund-

heit durch den Lärm dar. Ihr Auftreten setzt im allgemeinen Lärmintensitäten während langer Zeit voraus; sie ist zudem stark von der Frequenz des in Frage stehenden Geräusches abhängig. Hohe Frequenzen sind gefährlicher als tiefe. Lärmschwerhörigkeit tritt praktisch nur dann auf, wenn Menschen sich in unmittelbarer Nähe einer Lärmquelle aufhalten, wie es bei der Arbeit in Industrie und Gewerbe der Fall sein kann, ferner beim Schießen und neuerdings angeblich auch bei Musikern, die extrem laute Musik produzieren.

b) Vegetative Reizwirkungen

Bei Lärmwirkungen ab 75 bis 80 dB(A) treten meßbare Verengungen der Blutgefäße und als Folge davon eine Erhöhung des Blutdruckes auf. Noch empfindlicher reagiert die Atmung mit einer Beschleunigung. Sicherergestellt sind auch eine Steigerung des Stoffwechsels, eine Abnahme der Tätigkeit der Verdauungsorgane und eine Zunahme der Spannung der Muskulatur. Alle vegetativen Reizwirkungen erhärten den Streßcharakter des Lärms.

c) Physische Krankheiten

Das Auftreten von physischen Krankheiten als direkte Folge chronischer Lärmbelastung würde angesichts der vegetativen Reizeffekte nicht überraschen. Es liegen jedoch bis jetzt nur wenige und widersprüchliche Untersuchungen vor. *Jansen* [6] berichtet über ein gehäuftes Auftreten von krankhaften Herz- und Kreislaufbefunden bei chronisch exponierten Arbeitern. Trotzdem kommt der britische «Noise Report» [2] auf Grund des Vergleiches vieler Arbeiten zum Schluß, daß die bisherigen Befunde nicht ausreichen, um das Entstehen chronischer körperlicher Krankheiten als direkte Folge von Lärmexpositionen anzunehmen. Dieser an sich erstaunliche Befund wird verständlich, wenn man berücksichtigt, daß alle die erwähnten vegetati-

ven Reizwirkungen sogenannte Streß- oder Alarmreaktionen darstellen und daß eine Streßanpassung möglich ist. So konnte nachgewiesen werden, daß verschiedene Streßarten nur beim ersten Auftreten eine Reaktion auslösten, daß aber in der Folge der Organismus viel weniger und später überhaupt nicht mehr auf den betreffenden Streß reagierte.

Streßadaption ist aber keineswegs etwa gleichzusetzen mit Lärmadaption im allgemeinen, weil es sich bei der erwähnten Adaption lediglich um die Anpassung des Organismus an die vegetativen Reizwirkungen handelt.

d) Seelische Krankheiten

Seelische Krankheiten als direkte Lärmfolge konnten bis jetzt nicht nachgewiesen werden. Wohl fand *Jansen* [6] bei lärmexponierten Arbeitern vermehrte zwischenmenschliche Spannungen. *Davis* [3], der bei der Besatzung amerikanischer Flugzeugträger nach Symptomen nervöser Störungen suchte, fand dafür aber keine Anhaltspunkte.

Ein wichtiges Indiz für das Bestehen eines Zusammenhanges zwischen Lärm und seelischen Krankheiten haben bis jetzt *Abeywickrama* et al. [7] geliefert. Sie konnten in einer retrospektiven, zwei Jahre dauernden Studie nachweisen, daß die Zahl der Einweisungen in eine psychiatrische Klinik signifikant höher war bei Leuten aus einer Gegend, die stärkstem Fluglärm ausgesetzt war, als bei einem nach Alter, Geschlecht, sozialen und sozioökonomischen Bedingungen vergleichbaren Kollektiv außerhalb dieser stärksten belärmten Gegend.

Von den häufigeren Einweisungen in die psychiatrische Klinik waren hauptsächlich ältere Frauen betroffen, die allein lebten. Sie litten vor allem unter neurotischen Störungen und organisch-geistigen Krankheiten. Die Autoren schließen aus ihren Resultaten nicht, daß der Fluglärm Geisteskrankheit di-

rekt verursacht, betrachten es aber als erwiesen, daß eine starke Lärmbelastung ein Faktor sein kann, der die Einweisungspraxis in eine Heilanstalt beeinflußt.

e) Schlafstörungen

Schlafstörungen stellen eine ernsthafte Beeinträchtigung des Wohlbefindens dar. Allerdings sind die individuellen Unterschiede hier sehr groß. *Steinicke* [8] fand in einem Experiment, daß 10 % seiner Versuchspersonen bereits bei Lärmstößen von 30 Phon aufwachen, während andererseits weitere 10 % auch durch einen Lärm von 70 Phon noch nicht geweckt wurden. Bei 45 Phon wachte rund die Hälfte der Versuchspersonen auf. [Die Angabe des Lärms in Phon hat in der Zwischenzeit der Angabe in dB(A) Platz gemacht.]

Durch Registrierung der hirnelektrischen Aktivität im sogenannten Elektroenzephalogramm (abgekürzt EEG) an schlafenden Versuchspersonen konnte nachgewiesen werden [9, 10], daß bereits durch niedrige und mittlere Lärmpegel von 55 bis 80 Dezibel die Schlaftiefe verändert wird, ohne daß die Versuchspersonen aufwachen. Es ist nicht auszuschließen – direkte Beweise stehen allerdings noch aus –, daß durch häufige, obwohl nicht weckende Lärmreize die Tiefschlafphasen überhaupt nicht erreicht oder häufig unterbrochen werden. Derartige Schlafstörungen beeinträchtigen die Erholung und könnten zu Zuständen chronischer Ermüdung mit allen ihren Nachteilen auf das Wohlbefinden, die Leistungsfähigkeit und die Krankheitsanfälligkeit führen.

f) Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit

Dauernder Lärm bis zu den Stärken von 90 dB(A) scheint Muskelarbeit nicht zu beeinträchtigen. Ausnahmen bilden Arbeiten, bei denen die sprachliche Verständigung benötigt wird, und monotone Arbeiten, die dauernde Aufmerksamkeit verlangen. Bei diesen

beiden Arten von Arbeit steigt bei Lärm die Zahl der Fehler an, doch sinkt die geleistete Arbeitsmenge kaum ab. Hingegen entspricht es der allgemeinen Erfahrung, daß anspruchsvolle geistige Arbeit durch Lärmeinwirkung beeinträchtigt wird. Leider lassen sich intellektuelle Arbeiten kaum standardisieren, sie entziehen sich darum der Messung.

g) Störung der Sprachverständlichkeit

Die Störung der Sprachverständlichkeit stellt eine schwere Beeinträchtigung durch den Lärm dar. Auf Grund verschiedener Untersuchungen ist bekannt, daß die durchschnittliche Lautstärke der Sprache bei einem Abstand von einem Meter im Bereich von 60 bis 65 dB liegt. Man weiß auch, daß die völlige Verständlichkeit der Sprache nur gewährleistet ist, wenn die Sprache um rund 6 dB lauter ist als der umgebende Störpegel. Wenn die Lautstärke der Sprache wegen der umgebenden Störgeräusche erhöht werden muß, so stellt dies sowohl für den Sprecher als auch für den Zuhörer eine zusätzliche Anstrengung dar, die zur raschen Ermüdung führt. Sind die Störgeräusche hoch, so daß sie nicht ohne weiteres übertönt werden können, so wird die soziale Kommunikation, als deren wichtigstes Instrument die Sprache zu gelten hat, gestört oder sogar verunmöglichlicht.

Borsky [11] konnte zeigen, daß die Störung der Sprachverständlichkeit zu den zuverlässigsten Einzelbefunden für die Feststellung der Beeinträchtigung gehört.

h) Störungen verschiedener Art

Dem *Erschrecken* und den *Erschütterungen des Hauses* durch Lärm kommen als Beeinträchtigung des Wohlbefindens erhebliche Bedeutung zu.

Durch starken Lärm werden auch *Radiohören und Fernsehen*, die im allgemeinen einen wesentlichen Platz in der Gestaltung der Freizeit einnehmen, beeinträchtigt. Es er-

staunt darum nicht, daß in allen größeren Felduntersuchungen über Lärmstörungen die Beeinträchtigung des Radiohörens und des Fernsehens mitberücksichtigt wurde.

i) Subjektive Belästigung

Im britischen «Noise Report» [2] wurde in Analogie zu den Ergebnissen von *Hawell* [5] nachgewiesen, daß derselbe Lärm viel mehr stört, wenn man zu Hause ist als außer Haus oder bei der Arbeit. Von 100 Personen, die Störung durch Lärm erwähnten, beurteilten 99 den Lärm als störend, wenn sie zu Hause waren, jedoch nur 35, wenn sie außer Haus waren, und nur 26, wenn sie dem gleichen Lärm während der Arbeit ausgesetzt waren. *Hawell* [4] hat aus seinen Untersuchungen den Schluß gezogen, daß 25 % der Bevölkerung kaum und weitere 25 % ausgeprägt lärmempfindlich sind. Jedoch können sich diese Grenzen von Fall zu Fall auch wieder verschieben, je nach den augenblicklichen psychophysischen Verfassungen eines Menschen.

McKenna [1] hat in der britischen Fluglärmuntersuchung festgestellt, daß ungefähr 10 % der befragten Leute sich auch in ruhiger Wohnlage über Fluglärm beklagen. Diese besonders empfindlichen Personen klagen auch gehäuft über andere Wohnbedingungen. Andererseits sind ungefähr 30 % der untersuchten Personen derart lärmunempfindlich, daß sie sich auch bei größten Lärmbelastungen nicht beeinträchtigt fühlen.

2. Lärm: Belästigung oder Schädigung der Gesundheit

Es ist eine alte Streitfrage, ob es sich bei den verschiedenen Störungen durch Lärm um eine Belästigung oder um eine Schädigung der Gesundheit handelt.

Wohl ist es einfach, in den Extremfällen eine klare Wertung vorzunehmen. So ist die Lärmschwerhörigkeit ganz eindeutig als Schädigung

der Gesundheit zu werten, und ebenso eindeutig sind die Störungen des Radiohörens und des Fernsehens als Belästigung einzustufen. Meist aber liegen die Verhältnisse komplizierter, wie sich am besten am Beispiel der Schlafstörung demonstrieren läßt: Eine Schlafstörung kann als einzelnes Ereignis eine mehr oder weniger große Belästigung darstellen; häufigere Schlafstörungen hingegen können die Erholung in einer Weise beeinträchtigen, daß eindeutig krankhafte Zustände mit Einbuße der Leistungsfähigkeit als indirekte Lärmfolge eintreten.

Eine Differenzierung zwischen Belästigung und Beeinträchtigung der Gesundheit durch den Lärm ist darum falsch und unnötig zugleich; falsch, weil die Grenzlinie zwischen den beiden ziemlich willkürlich gezogen werden müßte, unnötig, weil auch die Belästigung eine Störung des psychischen und sozialen Wohlbefindens darstellt, die in der Folge auch die physische Gesundheit beeinträchtigen kann.

Wenn wir zudem dem Begriff der Gesundheit die Definition der Weltgesundheitsorganisation als «volles physisches, psychisches und soziales Wohlbefinden und nicht nur die Abwesenheit von Krankheit und Invalidität» zugrunde legen, so ist auch von hier aus gesehen eine erzwungene Unterscheidung von Belästigung und Gesundheitsschädigung abzulehnen.

Adresse des Autors:

Dr. med. *Alfred Gilgen*, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH, 8006 Zürich.

Literatur

- [1] *McKenna* A. C.: Aircraft noise annoyance around London (Heathrow) airport. Central office of Information, S. 337, London, April 1963.
- [2] Noise, Final report, herausgegeben vom Committee on the problem of noise, Her Majesty's Stationery Office, London 1963.

- [3] *Davis H.*: Auditory and non-auditory effects of high-intensity noise. Project ANEHIN: Final report, Joint Project 1301, Subtask 1, Report No. 7, Central Institute for the Deaf, St. Louis, Mo., and U.S. Naval School of Aviation Medicine, Pensacola, Fla.; in *Burns W.*: Noise and Man, by William Clowes and Sons Limited, London and Beccles 1968.
- [4] *Hawel W.*: Wie laut ist Lärm? Umschau in Wissenschaft und Technik 13, 409 (1968).
- [5] *Hawel W.*: Untersuchungen eines Bezugssystems für die psychologische Schallbewertung. Arbeitswissenschaft 6, Nr. 2, April 1967.
- [6] *Jansen G.*: Arch. Gewerbepath. und Gewerbehygiene 17, 238 (1959).
- [7] *Abey-Wickrama I., A'Brook M. F., Gattoni F. E. G. and Herridge C. F.*: Mental-Hospital admissions and aircraft noise. Lancet 13, Dez. 1969.
- [8] *Steinicke G.*: Forschungsbericht des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen, Nr. 416 (1957).
- [9] *Richter H. R.*: Nächtlicher Verkehrslärm verhindert Erholung im Schlaf. Pressedienst der Schweizerischen Liga gegen den Lärm, November 1967.
- [10] *Jansen G.*: Zur physiologischen Beurteilung des Lärms. Documenta Geigy, «Lärm», 1967.
- [11] *Borsky P. N.*: Community reactions to air force noise; Part II. Data on community studies and their interpretation. Wadd. Technical Report 60-689 (II), McGregor & Werner Inc., Dayton, Ohio (1961).