

Le bruit dans l'environnement/ Lärm in der Umwelt

Messung und Analyse des Umgebungslärms

A. Lauber¹

Eine erste grosse Schwierigkeit bei der Beurteilung einer Lärmstörung ist die Bestimmung des für die Störung massgebenden «Lärmzustandes».

Lärm ist ja selten eine konstante Grösse; er ist in vielen Fällen eng verknüpft mit den menschlichen Tätigkeiten und zeigt daher wie diese sehr unterschiedliche Erscheinungsformen.

Gerade bei Gerichtsfällen ist es wichtig, dass beide Parteien und das Gericht einig sind, welche typische Lärmsituationen vom Experten begutachtet werden sollen.

Wenn man es mit einer bekannten spezifischen Lärmquelle zu tun hat (z. B. mit einem Industriebetrieb, einer verkehrsreichen Strasse oder Eisenbahnlinie), so wird man zunächst die zeitliche Folge der verschiedenen Betriebsabläufe bzw. der Verkehrsmenge studieren. Vielleicht können daraus bereits erste Angaben über die für die Störung typische Lärmsituation erhalten werden.

Bei komplizierteren Lärmstörungen kann man mit der Aufzeichnung des «A»-bewerteten Schallpegels während längerer Zeit eine Übersicht über die Lärmsituation an einem bestimmten Ort gewinnen. Dazu einige Beispiele:

¹ Professor A. Lauber, EMPA, 8600 Dübendorf.

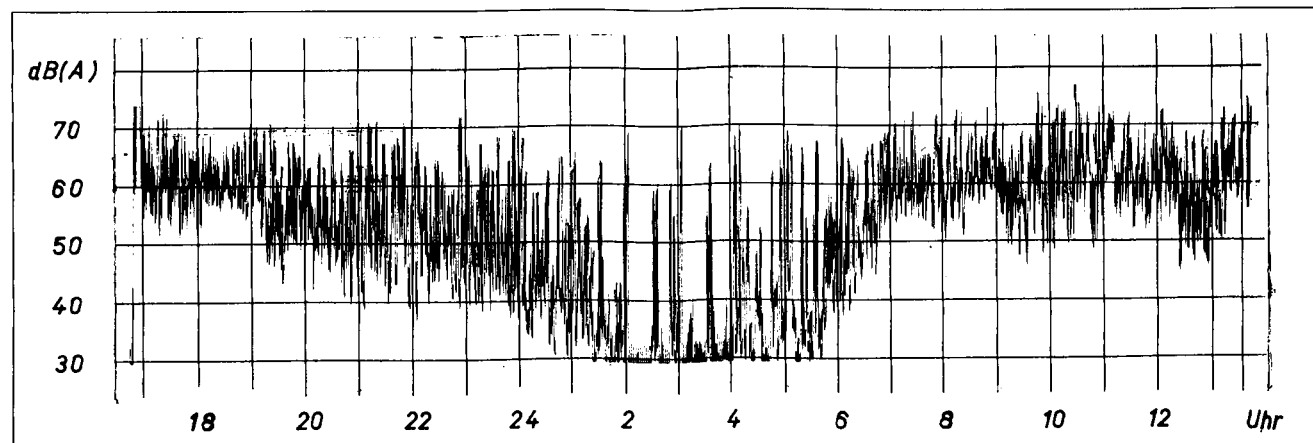


Abb. 1. Zeitlicher Verlauf des Strassenverkehrslärms in einer Stadt.

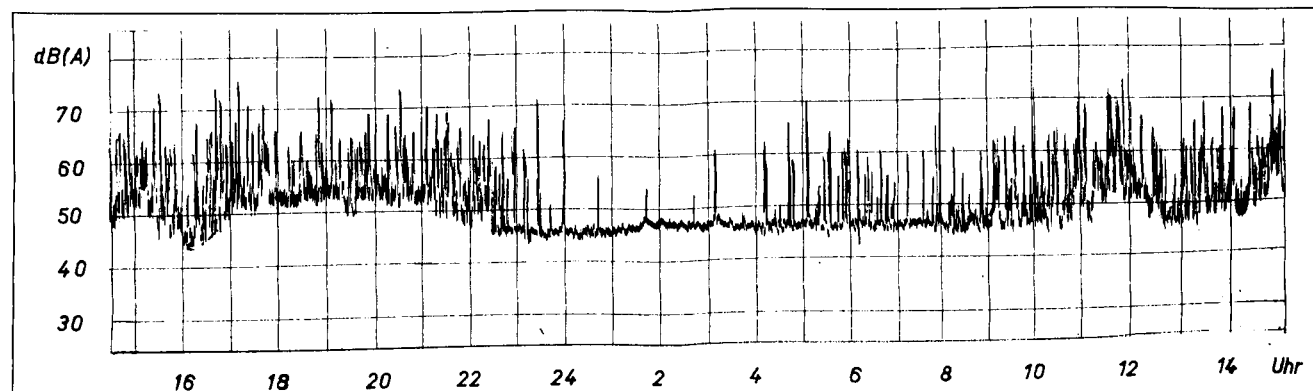


Abb. 2. Zeitlicher Verlauf von Strassenverkehrslärm und von Industrielärm.

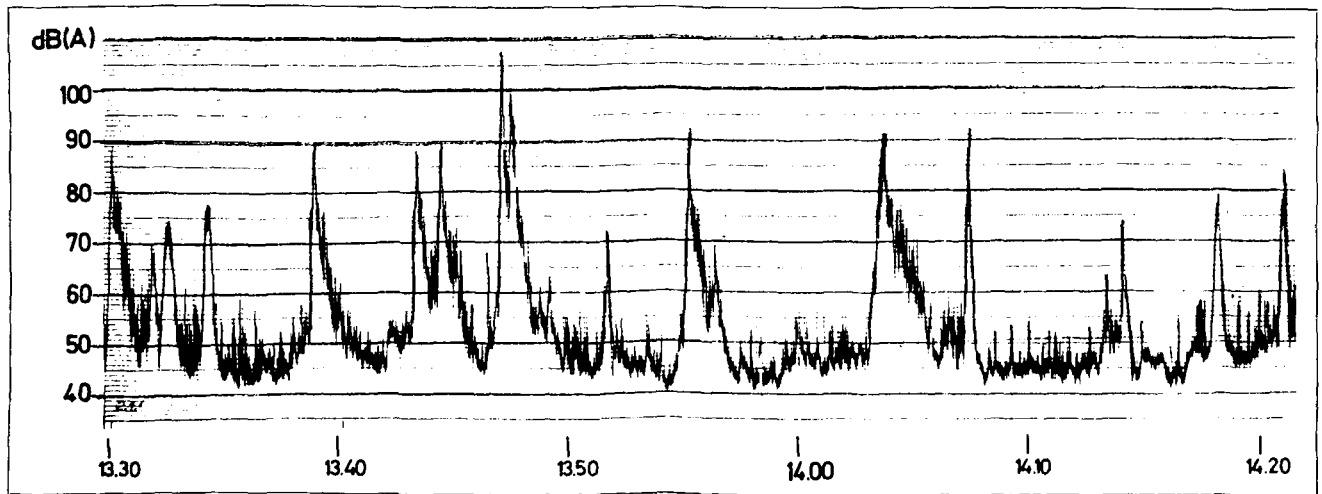
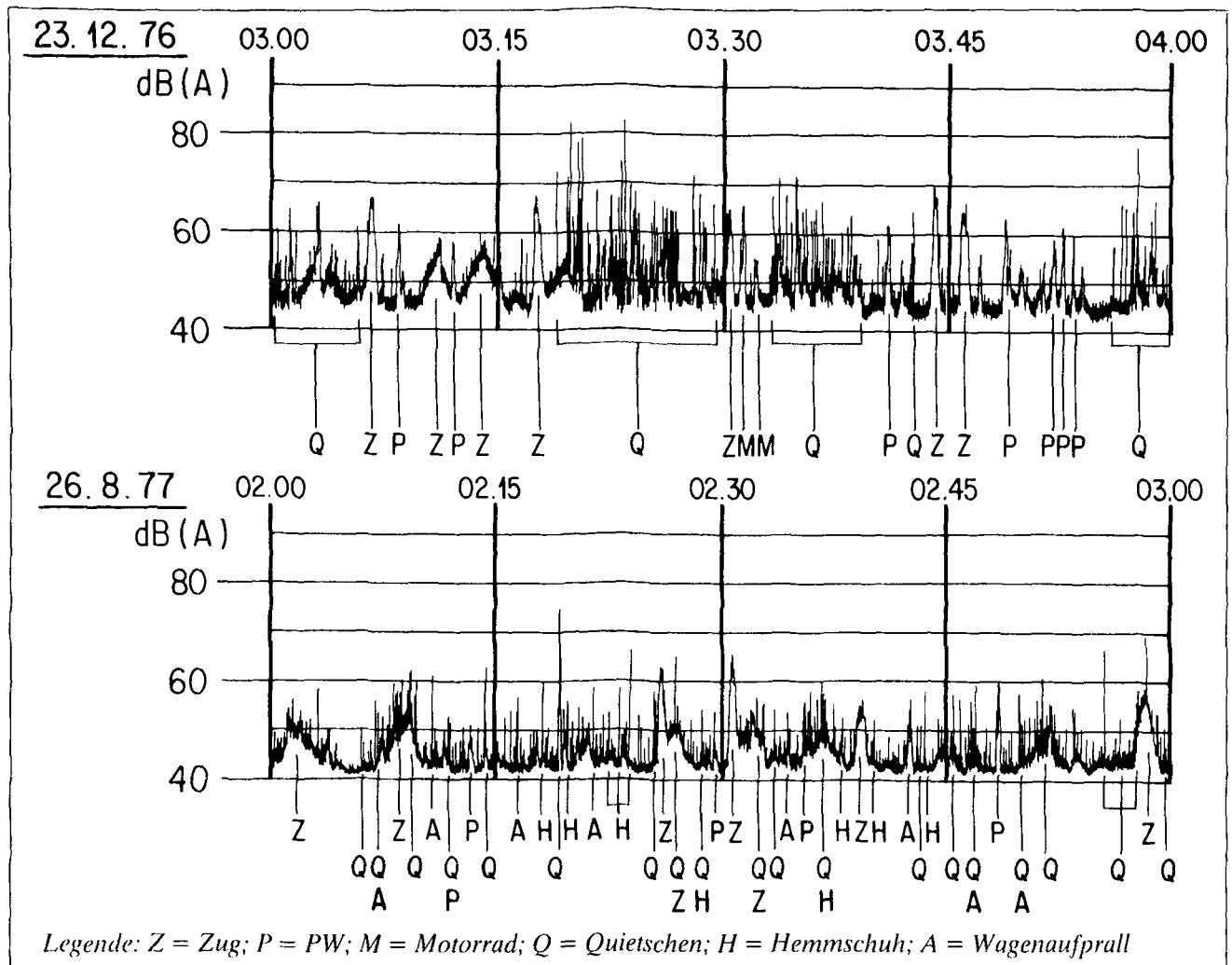


Abb. 3. Zeitlicher Verlauf des Lärms von Militärflugzeugen.

Typisch sind die regelmässigen Pegelschwankungen, verursacht durch die Vorbeifahrt der einzelnen Fahrzeuge. Typisch ist auch der Tagesverlauf mit den Spitzenverkehrszeiten am Mittag und am Abend, die Znüni- und die Mittagspause, die kurze Nachtruhe, die

langsame Lärmabnahme gegen Mitternacht und die rasante Lärmzunahme am frühen Morgen. Am Tag überwiegt der Strassenverkehrslärm. In der Nacht dominiert das gleichmässige Surren eines Industrieventilators.



Legende: Z = Zug; P = PW; M = Motorrad; Q = Quietschen; H = Hemmschuh; A = Wagenaufprall

Abb. 4. Zeitlicher Verlauf des Lärms von einem Rangierbahnhof:
 a) vor der Sanierung der Gleisbremsen b) nach der Sanierung der Gleisbremsen

Das mittlere Umgebungsgeräusch wird während einer beschränkten Zeit von einzelnen sehr hohen Lärmpegeln der vorbeifliegenden Flugzeuge überragt.

Es lassen sich deutlich verschiedene Lärmereignisse erkennen:

- das Quietschen der Gleisbremsen
- das Quietschen der Räder in den Kurven
- das Aufprallen der rangierten Wagen
- vorbeifahrende Schnellzüge

Mit solchen Pegelaufzeichnungen lassen sich oft Betriebszustände ermitteln, die für die Störung typisch und massgebend sind.

Zudem kann man auch den Erfolg von Lärmbekämpfungsmassnahmen ausweisen, wenn vor und nach ihrer Realisierung solche Diagramme aufgenommen worden sind.

Angaben zu dem für die empfundene Störung massgebenden Lärm- bzw. Betriebszustand werden auch in den neuen Entwürfen des Bundesamtes für Umweltschutz für Lärmimmissionsgrenzwerte gemacht.

Beim Strassenverkehrslärm wird als akustisches Mass der Mittelungspegel L_m (früher L_{eq} genannt) gewählt. Es handelt sich um den Mittelwert der Schallenergie während einer bestimmten Zeit; er ist wie folgt definiert:

$$L_m = 10 \log \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L/10} \cdot dt \text{ dB.}$$

Die für die Lärmstörung massgebende Zeit wird angegeben als eine Tages- oder Nachtstunde, die die mittlere Tages- oder Nachtverkehrsmenge aufweist. (Der Mittelwert ist über ein ganzes Jahr zu bilden.)

Für die meisten Fälle ist dies sicher eine gute Lösung. In gewissen Spezialfällen (z. B. bei ausgeprägtem Wochenendverkehr) wird man eine andere Lösung suchen müssen.

In einem anderen Entwurf werden Belastungsgrenzwerte für den Lärm von zivilen Schiessanlagen vorgeschlagen. Als akustisches Mass wird hier der mit der «A»-Kurve bewertete und mit der Zeitkonstante «FAST» gemessene Schallpegel eines «mittleren» Einzelschusses benützt. Dieser Pegel ist durch energetische Mittelwertbildung von mehreren Einzelschüssen zu bilden.

Die Intensität des Schiessbetriebs, die ja für die Störung ebenfalls von grosser Bedeutung ist, wird durch eine Kombination (K) der Zahl jährlicher Schiesshalbtage (D) und der verschossenen Munition (M) (im mehrjährigen Durchschnitt) beschrieben. Wobei die Schiesshalbtage an Sonntagen dreifach gezählt werden.

Erst wenn man genau weiss, welche Geräusche bei welchen Betriebszuständen typisch für die geltend gemachte Störung sind, soll mit deren Analyse begonnen werden. Dabei sind neben rein technischen Fakten auch die sich psychologisch auswirkenden Begebenheiten zu berücksichtigen.

Bei den technischen Fakten handelt es sich um den zeitlichen Verlauf des Schalldrucks, insbesondere um

seine Intensität und seine spektrale (frequenzmässige) Zusammensetzung.

In vielen Fällen genügt die Analyse des zeitlichen Verlaufs des «A»-bewerteten Schallpegels. Das Pegelmass und die «A»-Bewertung berücksichtigen ja bereits die unterschiedliche Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für verschieden hohe Töne, die von Fletcher, Munson, King und Robinson usw. untersucht worden ist (Abb. 5).

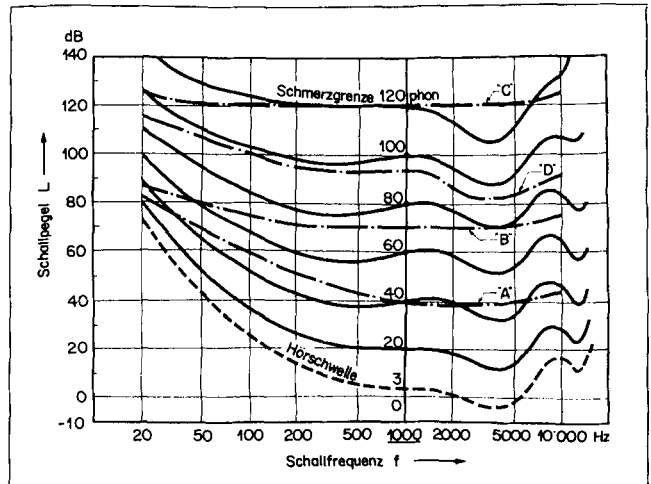


Abb. 5. Kurven gleicher Lautstärke (mit eingezeichnete «A»-Bewertungskurve).

In der Regel genügt es, für die typische Zeitdauer der Störung einen Mittelwert sowie einen Spitzenwert und den Grundgeräuschpegel (bei Abwesenheit der Störung) zu messen.

Die besondere Lästigkeit von Geräuschen, die eine tonale Komponente und/oder Impulse (z. B. Hammerschläge) aufweisen, wird oft durch einen Zuschlag von 5 dB zum Messwert berücksichtigt. Bei weitergehenden Untersuchungen können Schallpegelstatistiken und Frequenzanalysen gemacht werden (Abb. 6).

Die Differenz vom Grundgeräuschpegel zum mittleren Lärmpegel wird manchmal zur Beurteilung einer Störung herbeigezogen. Dies kann bei mittleren Lautstärken richtig sein, versagt aber oft bei ganz leisen und ganz lauten Geräuschen. So kann zum Beispiel in einer ruhigen ländlichen Gegend der Grundgeräuschpegel 25 dB und das Gackern eines Huhnes 50 dB betragen; trotzdem handelt es sich nicht um eine unzumutbare Störung. Andererseits kann der «Grundgeräuschpegel» in einer Diskothek 110 dB betragen, und jede weitere Erhöhung müsste man ablehnen.

Nebst den beschriebenen technischen Fakten sind, wie gesagt, auch Gegebenheiten zu berücksichtigen, die sich ebenfalls auf den Grad der empfundenen Störung auswirken können. Man sollte wenn möglich feststellen, wie der die Lärmstörung auslösende Vorgang vom Betroffenen eingestuft wird. Nämlich als:

- harmlos oder gefährlich
- nützlich oder schädlich
- notwendig oder überflüssig

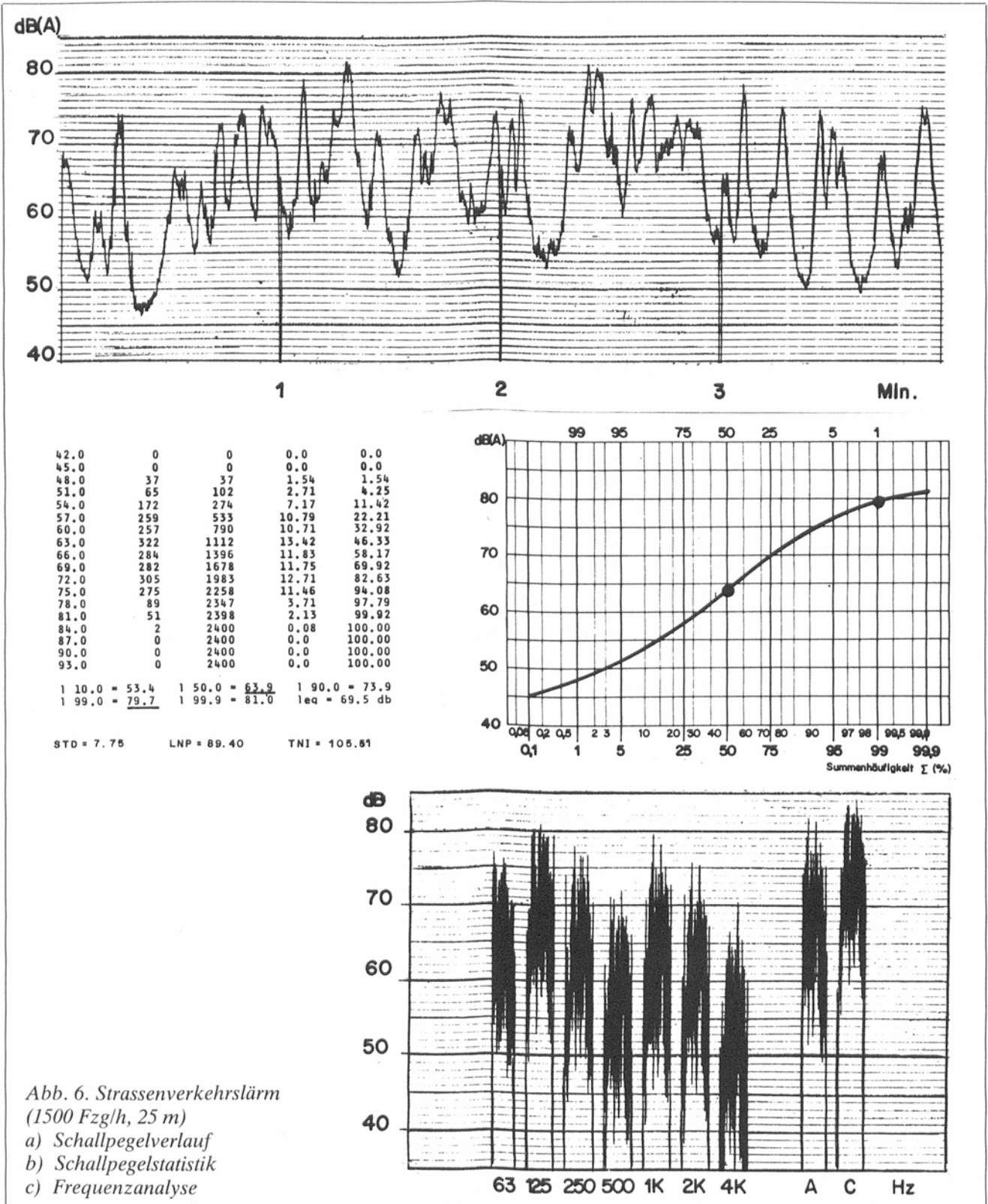


Abb. 6. Strassenverkehrslärm (1500 Fzgh, 25 m)
 a) Schallpegelverlauf
 b) Schallpegelstatistik
 c) Frequenzanalyse

- unvermeidbar oder vermeidbar (und daher rücksichtslos)
 - angemessen oder übertrieben
 - natürlicher oder unnatürlicher Vorgang
- Die aufgezählten Einstufungen bewirken zusammen mit den physikalischen Faktoren die Stressreaktion

- (Herzklopfen, erhöhter Blutdruck usw.). Sie wirken sich aus als Verminderung
- der Sprachverständlichkeit
 - der Konzentrationsfähigkeit
 - als Beeinträchtigung bei der Arbeit (und damit unter Umständen auch Unfallgefährdung) usw.

Kennnummer	Mittl. Geräusch L_{50}		häufige Spitzen L_1		seltene Spitzen $L_{0,1}$		wünschenswerte Zonenzugehörigkeit
	nachts	tags	nachts	tags	nachts	tags	
I	35	45	45	50	55	55	Kurzzone
II	45	55	55	65	65	70	ruhige Wohnzone
III	45	60	55	70	65	75	gemischte Zone
IV	50	60	60	70	65	75	Geschäftszone
V	55	65	60	75	70	80	Industriezone
VI	60	70	70	80	80	90	Hauptverkehrsader

wünschbare Werte: um 10 dB kleiner, jedoch nicht unter 30 dB(A)

Tab. 1. Grenzrichtwerte

Grund genug, den Lärm auf breiter Front zu bekämpfen.

Dies kann bekanntlich auf drei Ebenen geschehen – nämlich durch

- Lärmbekämpfung an der Quelle
- Bekämpfung der Lärmausbreitung
- Lärmschutzmassnahmen beim Betroffenen

Dazu dienen:

- Vorschriften für die Lärmemissionen (Typenprüfungen)
- Vorschriften für die Lärmimmissionen (Immissionsgrenzwerte)
- bauliche Vorschriften (z. B. SIA 181)

Die Verfahren der objektiven Lärmmessungen müssen genormt werden (z. B. diverse ISO-Normen).

- Vorschriften für die Typenprüfung der Motorfahrzeuge gibt es in der Schweiz schon seit 1952.

Sie wurden inzwischen mehrmals verschärft, und die neuesten Verordnungen des Bundesrates können als vorbildlich bezeichnet werden.

- Als eines der ersten Länder hat die Schweiz auch eine Typenprüfung für die Kleinaviatik eingeführt – die sich ebenfalls gut bewährt hat.

- Weitere Vorschriften für Typenprüfungen sind in Vorbereitung.

Immissionsgrenzwerte wurden erstmals 1963 von einer eidgenössischen Expertenkommission für Lärmbekämpfung im Schlussbericht dieser Kommission publiziert. Es handelt sich um die sogenannten provisorischen Grenzrichtwerte, die in der *Tabelle 1* aufgeführt sind. Dieses Schema wurde während vieler Jahre für die Beurteilung von Lärmstörungen angewendet.

Der Lärm wird durch die folgenden statistischen Werte beschrieben:

- Mittleres Geräusch L_{50} = Schallpegel, der während 50% der Messzeit überschritten wird (durchschnittlicher Pegel ohne Spitzen).

- Häufige Spitzen L_1 = Schallpegel, der in 1% der Messzeit überschritten wird (entspricht etwa 7–60 Schallsitzen pro Stunde).

- Seltene Spitzen $L_{0,1}$ = Schallpegel, der während 0,1% der Messzeit überschritten wird (entspricht etwa 1–6 Schallsitzen pro Stunde).

Diese Grenzrichtwerte sind räumlich abgestuft nach sechs verschiedenen Zonen und zeitlich nach Tages- und Nachtzeit.

Die wünschbaren Werte (z. B. Planungswerte für Neubauten) sind um 10 dB(A) niedriger anzunehmen.

Im Zusammenhang mit dem neuen Umweltschutzgesetz werden gegenwärtig neue Immissionsgrenzwerte erarbeitet. Für den Strassenverkehrslärm und für den Schiesslärm von zivilen Schiessanlagen liegen veröf-

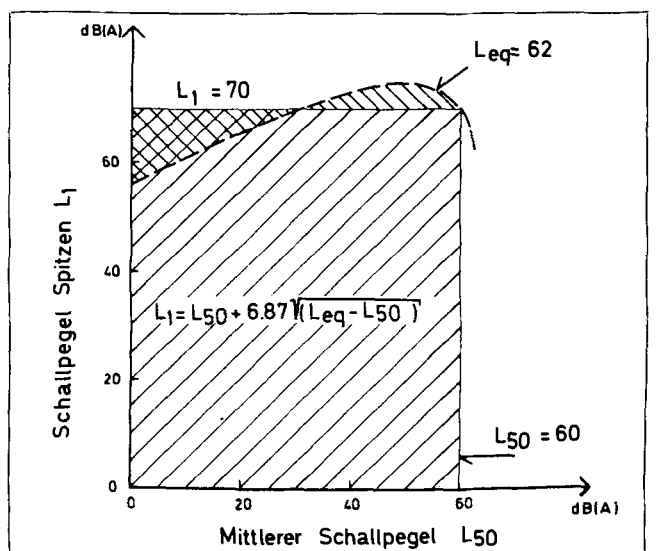


Abb. 7. Begrenzung von Schallimmissionen durch Vorschriften L_{50} , L_1 oder L_m .

fentlichte Entwürfe vom Bundesamt für Umweltschutz vor, mit denen heute Erfahrungen gesammelt werden. Beim Vergleich mit den früheren Grenzrichtwerten stellte sich zunächst die Frage: Ist es möglich, die Doppelvorschrift mit L_{50} und L_1 durch eine einzige Vorschrift L_m zu ersetzen?

Wie *Abbildung 7* zeigt, ist dies in der Tat weitgehend möglich.

Wie man sieht, wird durch eine Vorschrift L_{50} und L_1 in zweidimensionaler Darstellung ein schraffiertes Feld beschrieben. Alles, was im schraffierten Gebiet liegt, ist erlaubt, und alles ausserhalb des Gebietes ist übermässig.

Bei sehr vielen Lärmarten (z. B. beim Strassenverkehrslärm) kann die statistische Verteilung der zeitlich aufeinanderfolgenden Pegel mit guter Annäherung durch eine Gaussche Verteilung beschrieben werden. Für den Fall einer Gausschen Verteilung kann jedoch die folgende Beziehung abgeleitet werden:

$$L_{eq} = L_{50} + 0,021 \cdot (L_1 - L_{50})^2$$

Abbildung 7 zeigt, wie die Doppelvorschrift $L_{50} = 60$ dB(A) und $L_1 = 70$ dB(A) durch einen Wert von $L_m = 62$ dB(A) recht gut approximiert wird.

Die Problematik bei der Aufstellung von Lärmimmissionsgrenzwerten ist in *Abbildung 8* dargestellt.

Mit dem Lärm als physikalische Grösse befasst sich die Physik und die Akustik. Hier muss ein Mass M

gefunden werden, das die Störung möglichst gut beschreibt.

Aufgabe der Medizin und der Soziologie ist es, den Grad der Behinderung durch den Lärm mit einer einfachen Zahl B zu beschreiben. Alle Wissenschaft zusammen kann nicht mehr erreichen, als den funktionellen Zusammenhang zwischen Lärm M und Behinderung B zu bestimmen.

Der Entscheid, wie gross die Behinderung schliesslich sein soll oder darf, ist eine Frage, bei der noch viele andere Faktoren, wie Kosten und Durchführbarkeit der nötigen Massnahmen usw., zu berücksichtigen sind. Die Festlegung eines Lärmimmissionsgrenzwertes ist daher ein politischer Entscheid.

Bei der Bekämpfung der Lärmausbreitung ist zunächst der Abstand zwischen Lärmquelle und Lärmempfänger von grosser Bedeutung. Diesem Umstand ist vor allem bei der Planung von neuen Anlagen besondere Beachtung zu schenken.

Bei einer langgestreckten (linienförmigen) Schallquelle, zum Beispiel einer Autobahn, beträgt die geometrisch bedingte Lärmpegelabnahme nur 3 dB pro Abstandsverdoppelung; dagegen beträgt diese Abnahme bei einer punktförmigen Schallquelle (z. B. einem einzelnen Lastwagen) 6 dB pro Abstandsverdoppelung.

Bei grösseren Abständen sind noch die zusätzlichen Dämpfungen, und vor allem der Einfluss von Wind

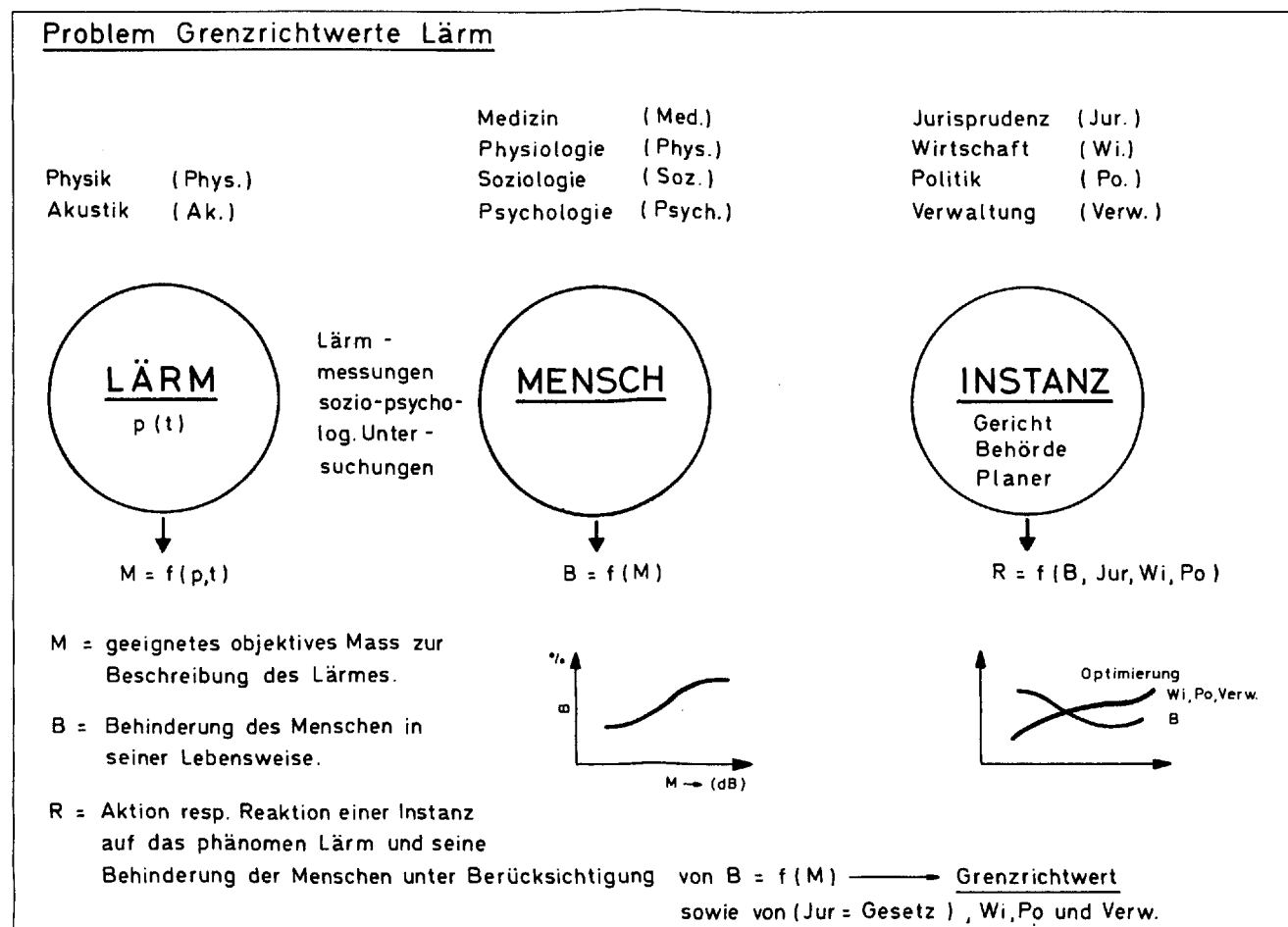


Abb. 8. Problematik bei der Aufstellung von Immissionsgrenzwerten.

und Temperaturverteilung über dem Boden, zu berücksichtigen.

Die schallvermindernde Wirkung eines Waldes beträgt etwa 7 bis 14 dB pro 100 m, wobei es sehr auf die Art der Bepflanzung ankommt. Über eine Distanz von etwa 2000 m können durch Wind und Wetter bedingte Änderungen im übertragenen Schallpegel mehr als ± 10 dB betragen.

Die vorherrschende Wetterlage in einem bestimmten Gebiet muss daher auch in die Analyse des Umgebungslärms mit einbezogen werden, wobei man weitgehend auf Schätzungen und Erfahrungswerte angewiesen ist.

Sehr wirksam in der Verminderung der Lärmausbreitung sind künstliche oder natürliche Hindernisse, wie Häuser, Wände, Wälle usw.

Massgebend für die Schalldämmung solcher Hindernisse ist immer der Wegunterschied zwischen dem direkten Schallweg von der Schallquelle zum Empfänger und dem (kürzesten) Umweg um das Hindernis (Abb. 9).

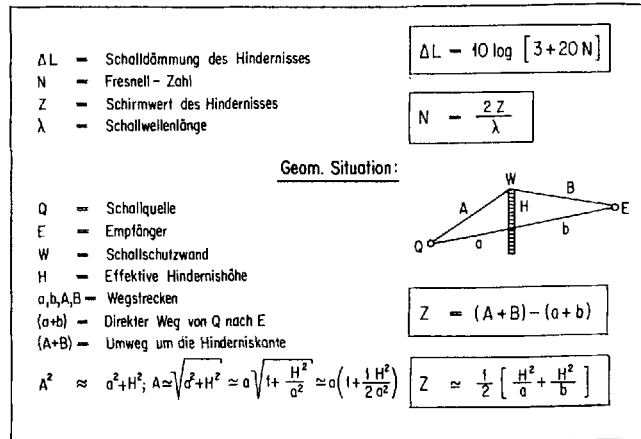


Abb. 9. Schalldämmende Wirkung von Hindernissen.

Dies gilt nicht nur für die geometrische Situation in einem Vertikalschnitt, sondern auch für den Grundriss. Für eine gute Schalldämmung sind daher relativ hohe und lange Hindernisse nötig.

Als Ultima ratio der Lärmbekämpfung sind Schutzmassnahmen beim Betroffenen vorzuziehen. Durch eine geschickte Anordnung der Gebäude kann unter Umständen eine deutliche Abschirmung gegen den Umgebungslärm erzielt werden. Sodann lässt sich mit modernen Fensterkonstruktionen und massiver Bau-

weise eine sehr hohe Schalldämmung erreichen, die fast alle Lärmprobleme löst, solange die Fenster festverschlossen sind. Schliesslich kann der Lärm durch das Tragen von individuellen Gehörschutzmitteln stark gedämpft werden. Die beiden zuletzt genannten Massnahmen bedeuten jedoch auf die Dauer eine unzulässige Verminderung der Lebensqualität.

Zusammenfassung

Für die Beurteilung des Umgebungslärms ist es wichtig, den für die Störung massgebenden Lärmzustand zu erfassen. Dies kann mit Hilfe von Betriebsanalysen, mit Aufzeichnungen der Lärmpegel während längerer Zeit und mit Angaben aus gewissen Normen und Verordnungsentwürfen geschehen. Gemessen wird der zeitliche Verlauf der Schallintensität und der spektralen Verteilung. Schallimpulsen und Reintonkomponenten ist mit Zuschlägen zu den Messwerten Rechnung zu tragen, und psychologische Aspekte der Lärmsituation sind zu berücksichtigen. Als Kriterien für die Beurteilung dienen die Immissionsgrenzwerte. Die Probleme bei der Aufstellung solcher Grenzwerte werden dargelegt, und auf die wichtigsten Lärmbekämpfungsmassnahmen wird hingewiesen.

Résumé

Mesure et analyse du bruit dans l'environnement

Afin de porter un jugement sur les bruits ambiants, il est important de déterminer les composantes importantes du bruit provoquant la gêne. Ce but peut être atteint par l'analyse du processus de travail, par l'enregistrement du bruit durant des périodes suffisamment longues, en se référant aux données de certaines normes ou projets d'ordonnances. On procédera à la mesure de l'intensité et du spectre sonore en fonction du temps. On tiendra compte de la présence dans le bruit des sons purs, ou du caractère impulsif en ajoutant une certaine valeur (par exemple 5 dB) au bruit mesuré; par ailleurs on prendra en considération l'aspect psychologique de la situation sonore. Pour juger les résultats de mesure, on se servira des valeurs limites. Les problèmes posés par la fixation des valeurs limites sont relevés et les mesures principales de lutte contre le bruit sont mentionnées.

Summary

Measure and Analysis of Environmental Noise

In the assessment of community noise, it is important to determine the noise conditions responsible for the disturbance. This can be done with knowledge of the operating conditions and with help of the time history of the noise over an extended period. This information must be gathered in consideration of the appropriate standards and regulations. The spectral distribution of the noise as well as its time history are measured. For noise with impulsive character or containing pure tone components, a factor is added. Psychological factors must also be considered. As noise criterion, the corresponding immission limits are applied. The problems of establishing such limits and the most important noise abatements measures are discussed.