

# Schallmessungen<sup>1</sup>

A. Lauber

## Zusammenfassung

Bei Lärmproblemen in Industrie und Gewerbe ist zu unterscheiden zwischen den Störungen für die Arbeiter und Angestellten im Innern des Betriebes und den Schallstörungen nach außen auf die Nachbarschaft.

Geeignete Schallmeßverfahren zur objektiven Messung der Geräusche werden angegeben und die Kriterien für die Bewertung der gemessenen Daten werden besprochen.

Die wichtigsten Maßnahmen für die eigentliche Lärmbekämpfung werden angegeben.

## Résumé

En ce qui concerne les problèmes du bruit dans l'industrie et l'artisanat, il y a lieu de distinguer d'une part les inconvénients pour les ouvriers et employés occupés à l'intérieur d'une exploitation et, d'autre part, la gêne apportée à l'extérieur pour le voisinage.

Des procédés appropriés pour la mesure objective des bruits sont indiqués et les critères relatifs à l'interprétation des données mesurées font l'objet d'un commentaire.

Enfin, pour terminer, il est fait état des moyens les plus importants pour la lutte effective contre le bruit.

Das Lärmproblem in Industrie und Gewerbe hat zwei Aspekte:

- *Einen internen Aspekt*, der die Belästigung oder gar Gefährdung der eigenen Arbeiter und Angestellten betrifft und
- *einen externen Aspekt*, nämlich die Belästigung der Nachbarschaft mit Schallimmissionen.

Starker Lärm ist für die Menschen eine Belastung.

Lärm erschwert die Arbeit, vor allem *das selbständige Denken*, also die geistige Arbeit.

Lärm stört aber auch die *sprachliche Verständigung* und kann damit die Ursache von Unfällen sein.

Lang dauernder, sehr starker Lärm kann zu einer *Lärmschwerhörigkeit* führen.

Und schließlich stört der Lärm *beim Schlafen* und verhindert damit die notwendige Erholung.

<sup>1</sup> Nach einem Referat gehalten vor der Studiengruppe für Gesundheitsschutz in Industrie und Gewerbe am 10. November 1966 im Gerichtsmedizinischen Institut der Universität Zürich.

Zur Lösung dieser beiden Aufgaben werden z.T. die gleichen, z.T. aber spezifische Meßmethoden angewendet, die im folgenden näher beschrieben werden.

Bei jeder subjektiv empfundenen Lärmbelästigung sind die folgenden objektiven, physikalischen Größen maßgebend beteiligt:

1. die Schallstärke oder Schallintensität,
2. das Schallspektrum,
3. der zeitliche Verlauf der Schallstörung, z. B. die Häufigkeit der Schallereignisse.

Die Bestimmung der Schallstärke erfolgt heute allgemein mit einem Schallpegelmesser, mit dem sogenannte Schallpegel gemessen werden.

Die Definition des Schallpegels ist in der ISO Recommendation R 131 (1959) wie folgt festgelegt:

$$L = 20 \log p_x / p_o$$
$$p_o = 2 \times 10^{-4} / \mu B$$

Es handelt sich also um eine Verhältniszahl, die angibt, um wieviel größer ein bestimmter Schalldruck  $p_x$  im Verhältnis zu einem Bezugswert  $p_o$  ist.

Auch die Schallpegelmeßgeräte sind von der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) in allen Einzelheiten genormt.

- Für gewöhnliche Überwachungs- und Kontrollgeräte gilt das Document IEC Nr. 123 (1961);
- die Anforderungen an Präzisionsmeßgeräte sind in der Norm IEC Nr. 179 (1965) festgelegt.

Dabei hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die drei folgenden typischen Schallwerte zu beobachten [Lit. 1]:

#### 1. *Das Grundgeräusch*

Damit ist jener Schallpegel gemeint, der im Durchschnitt immer etwa vorhanden ist.

#### 2. *Häufige Schallspitzen*

Das sind ausgeprägte Lärmmaxima, die in der Stunde 7- bis 60mal vorkommen.

#### 3. *Seltene Schallspitzen*

Ausgeprägte Lärmspitzen, die 1- bis 6mal pro Stunde auftreten.

Für eine erste Untersuchung einer Lärmbelästigung – sei es intern im Eigenbetrieb oder extern in der Nachbarschaft – genügt also ein einfaches Schallpegelmeßgerät, mit dem während längerer Zeit bewertete Schallpegel in dB(A)-Einheiten gemessen werden.

Abb. 1 zeigt das Prinzip eines Schallpegelmeßgerätes.

Wichtig ist, daß nur amtlich geprüfte und anerkannte Typen von Schallpegelmeßgeräten verwendet werden; daß die Eichung der Apparate vor jeder Messung mit einer Eichschallquelle kontrolliert wird und daß die Geräte

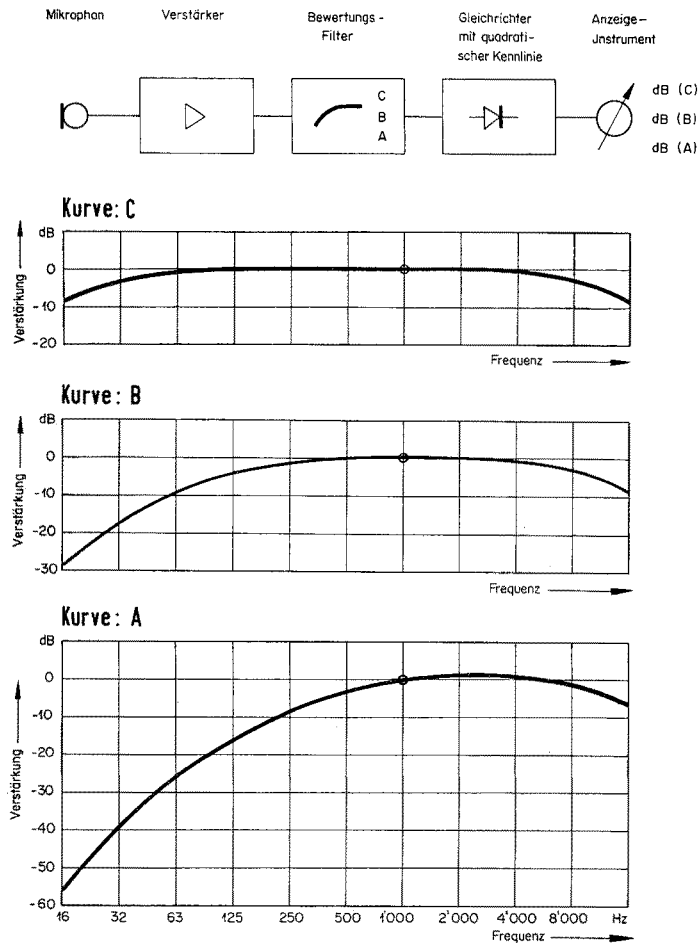


Abbildung 1 Schallpegel-Meßgerät. Commission Electrotechnique Internationale, Publ. 123 u. 179

mindestens alle 1–3 Jahre einmal an das Eidg. Amt für Maß und Gewicht in Bern zur Eichkontrolle eingesandt werden.

Für eine *genauere Untersuchung des Schallspektrums* muß eine sogenannte Frequenzanalyse gemacht werden.

Dabei werden mit Filtern aus dem ganzen Tonbereich gewisse Teilbereiche ausgesiebt und die Schallpegel dieser Teiltonbereiche gemessen. Je nach der Art der untersuchten Geräusche und der verwendeten Filter werden mehr oder weniger viele Teiltonbereiche, die ein mehr oder weniger großes Frequenzband umfassen, untersucht.

Diese Messung kann direkt an Ort und Stelle ausgeführt werden, oder sie kann – was heute immer mehr der Fall ist – indirekt ab Tonband von einer

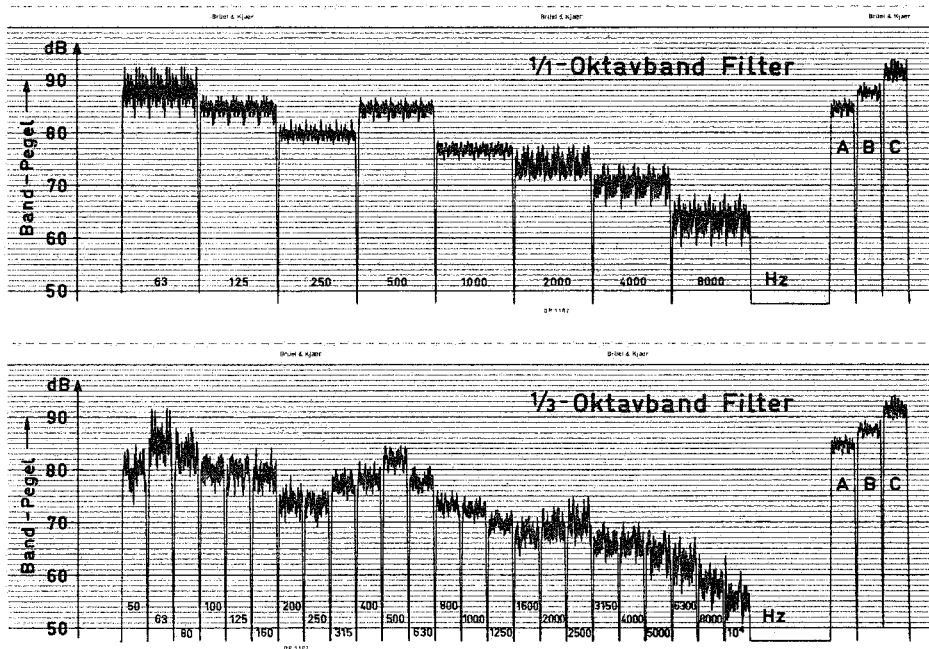


Abbildung 2 Schallfrequenzanalyse (Geräusch im Führerstand einer Lokomotive Ae<sup>4/6</sup>)

Schallaufnahme gemacht werden. Das Resultat ist immer eine *Kurve*, welche die Funktion Schallpegel–Frequenz darstellt.

Abb. 2 zeigt die Frequenzanalyse des Geräusches im Führerstand einer elektrischen Lokomotive.

Die obere Kurve zeigt eine Oktavbandanalyse, die untere Kurve eine verfeinerte Analyse mit  $\frac{1}{3}$ -Oktav-Bandfiltern.

Abb. 3 zeigt ein Laboratorium der EMPA in Dübendorf, wo Schallfrequenzanalysen von Tonbandaufnahmen mit verschiedenen Filtern ausgeführt werden.

Für eine *genauere Untersuchung der Häufigkeit von Schallereignissen* empfiehlt es sich, eine sogenannte Schallpegelstatistik auszuführen.

Dabei werden während längerer Zeit mit einem Automaten sehr viele Schallpegelmessungen gemacht. Der ganze vorkommende Schallpegelbereich wird in Teilbereiche oder sogenannte Klassen aufgeteilt, und es wird dann gezählt, wie oft eine bestimmte Schallintensität bei der Messung vorgekommen ist.

Das Resultat ist eine sogenannte *Summenhäufigkeitskurve*. Die Abb. 4 zeigt ein solches Beispiel für ein Straßenverkehrsgeräusch.

Damit kann eine exakte Definition für die Begriffe: Grundgeräusch, häufige und seltene Schallspitzen gegeben werden.

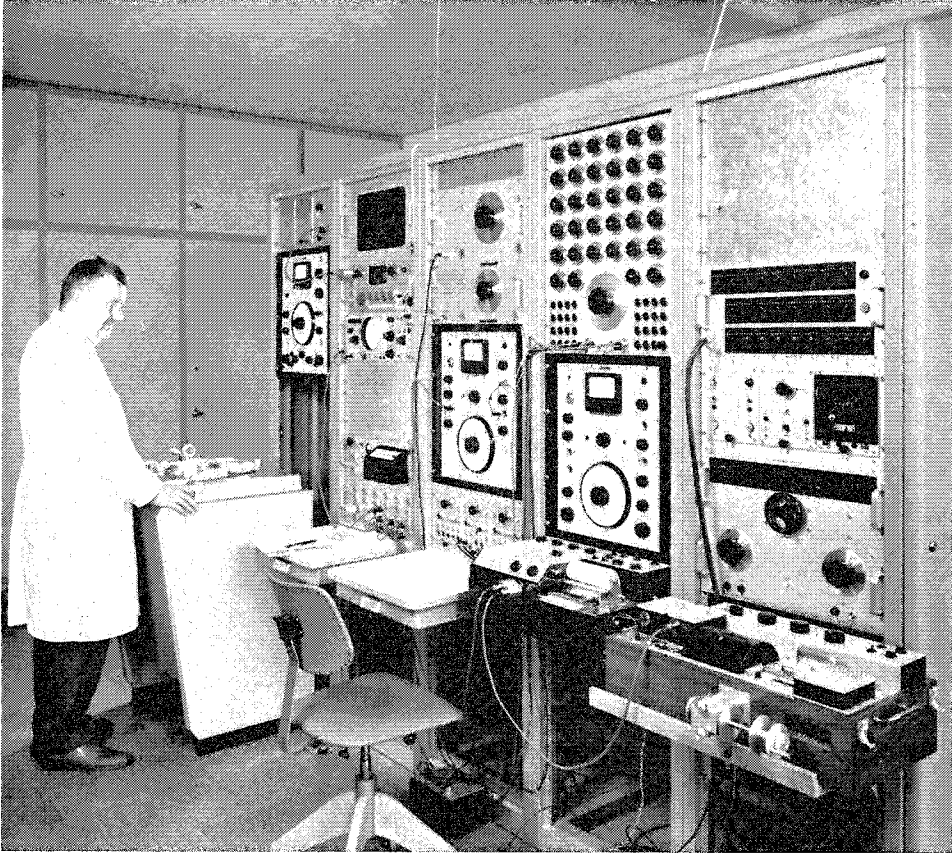


Abbildung 3 Meßplatz für Schallfrequenzanalysen und Schallpegelstatistik

Es entspricht nämlich dem sogenannten «Grundgeräusch» der Summenhäufigkeitswert bei 50%, den «häufigen Spitzen» ein Pegelwert bei der Summenhäufigkeit von 99% und den «seltenen Schallspitzen» ein solcher von 99,9%.

Mit den beschriebenen Meßgeräten und Schallmeßmethoden verfügt man heute über ein umfassendes Rüstzeug zur Bestimmung der physikalischen Daten, die für jede Schallbelastigung maßgebend sind.

Bei den *internen Lärmproblemen* in Industrie und Gewerbe stellt sich oft die Frage, ob eine bestimmte Geräuschesituation gesundheitsschädlich sei und ob z. B. die Gefahr einer Gehörschädigung bestehe.

In vielen Fällen können bereits einfache Schallpegelmessungen und die Beobachtung der Häufigkeit der Geräusche wertvolle Anhaltspunkte für die Beantwortung dieser Frage liefern.

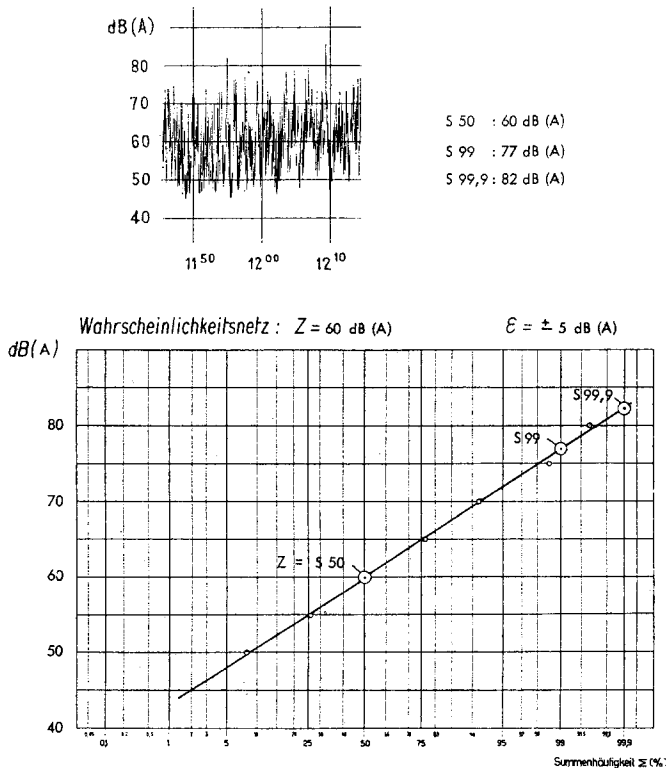


Abbildung 4 Schallpegelstatistik (Beispiel: Straßenverkehrsgeräusche der Hauptstraße in Langnau a. Albis am 26. 2. 1964, 11.45–12.45)

Schallpegel von 93 dB(A) und mehr stellen mit großer Wahrscheinlichkeit eine Gefahr für das Gehör dar, wenn man solchen Pegeln während langer Zeit täglich ausgesetzt ist.

Andererseits kann wieder mit großer Wahrscheinlichkeit gesagt werden, daß Schallpegel, die weniger als 87 dB(A) betragen, im Durchschnitt bei gesunden Menschen keine wesentlichen Gehörschäden verursachen.

Zwischen diesen Grenzen [87 und 93 dB(A)] liegt ein Gebiet, wo genauere Schallmessungen nötig sind. Mehr oder weniger häufige Schallpegelmessungen genügen nicht mehr. Es müssen nun Schallfrequenzanalysen und eventuell auch Schallpegelstatistiken gemacht werden.

Abb. 5 zeigt wiederum das Geräusch im Führerstand einer elektrischen Lokomotive. Die Kurve des Geräuschspektrums ist hier in eine Schar von Bewertungskurven, die von der ISO vorgeschlagen wurden, eingetragen. Damit kann zusätzlich ein Grenzkurvenkriterium gewonnen werden.

Als vorläufiger Grenzwert für Gehörschäden wird die Kurve N 85 vielfach verwendet.

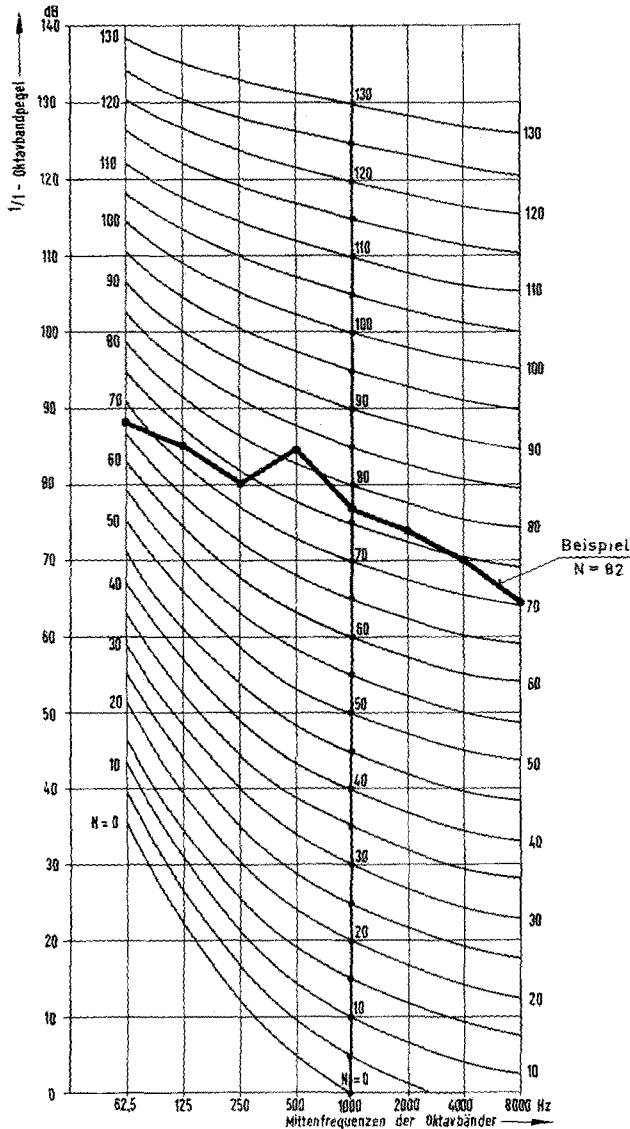


Abbildung 5 150-Grenzkurven (Beispiel: Geräusch im Führerstand einer Lokomotive Ae<sup>4/6</sup>)

Es gibt natürlich in der Fachliteratur noch eine ganze Menge anderer Grenzkurvenvorschläge [2, 3].

Abb. 6 zeigt einen anderen, sehr interessanten Vorschlag von *K. Kryter* [4].

Die beste physikalische Unterlage für die Beurteilung einer Geräuschsituation in einem Betrieb bezüglich der Schädlichkeit für die Menschen liefert ein statistisch ermitteltes Geräuschspektrum.

Abb. 7 zeigt eine solche Untersuchung, die in einer Stahlbauwerkstatt gemacht wurde.

Bei täglich 8stündiger Geräuschbelastung	dB(A)	dB(B)	dB(C)	son (OD)	phon (OD)	NC No.
Kurve für das Alter von 50-60 Jahren	92	101	108	116	108 <sup>5</sup>	75
Kurve für das Alter von 40-50 Jahren	96	105	112	157	113	79
Kurve für das Alter von 30-40 Jahren	100	109	116	212	117 <sup>5</sup>	83
Kurve für das Alter von weniger als 30 Jahren	104	113	120	282	121 <sup>5</sup>	87

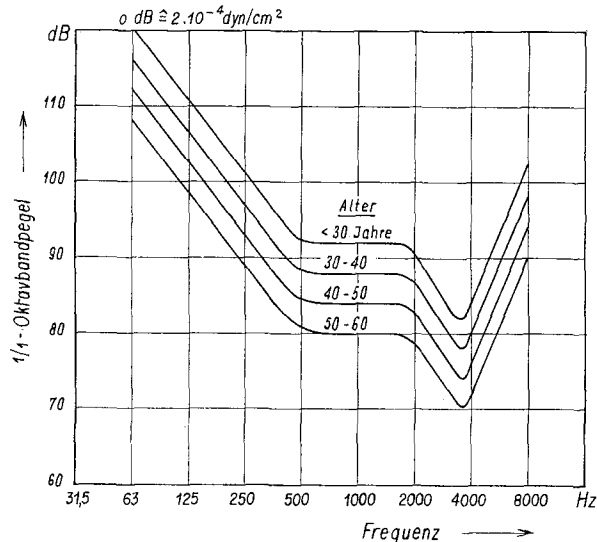


Abbildung 6 Grenzkurven für Gehörschäden, nach K. D. Kryter (bei breitbandigen Geräuschen)

	dB(A)	dB(B)	dB(C)	son (OD)	phon (OD)	No.
Kurve S 50 : Grundgeräusche	79	81	82	31	89,5	76
Kurve S 99 : Häufige Schallspitzen	93	93	93	90	105	91
Kurve S 99,9 : Seltene Schallspitzen	100	101	101	118	109	97
Kurve ±ε : 50%-Streuung						

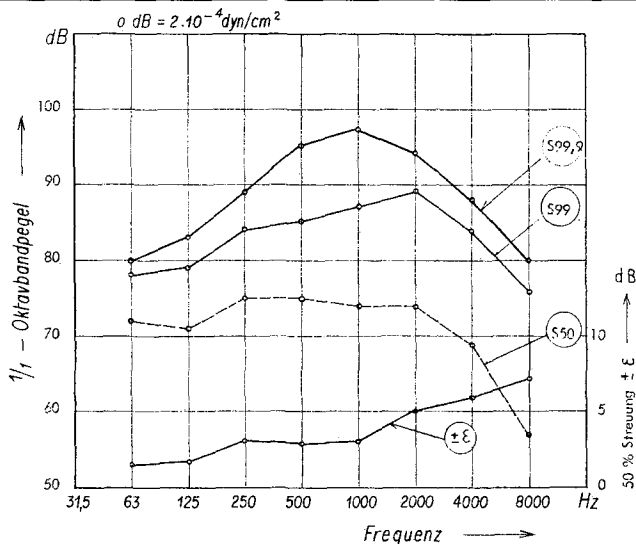


Abbildung 7 Frequenzanalyse. Arbeitsgeräusche einer Stahlbauhalle, 20. 11. 1964, 9.30-10.00 Uhr. Verwendetes Filter: Brüel und Kijær, Type 2112

Im folgenden werden noch kurz einige Maßnahmen aufgezählt, die für die eigentliche Lärmbekämpfung besonders wichtig sind:

1. Planung und Organisation:
  - Trennung von lauten Lärmzonen und schonungsbedürftigen Ruhezeiten;
  - Absonderung von besonders lauten Maschinen.
2. Ständiger Druck auf die Hersteller von Maschinen, damit leisere Maschinen gebaut werden.
3. Luft- und körperschallisolierte Aufstellung lauter Maschinen. Abkapseln und Abfedern!
4. Vergrößerung der Raumschalldämpfung durch Anbringen von Akustikplatten.
5. Wenn nötig, individuelle Hörschutzgeräte tragen.
6. Eventuell zeitliche Einschränkungen im Betrieb.

Bei den *externen Lärmproblemen*, den sogenannten Schallimmissionen auf die Nachbarschaft, stellt sich oft die Frage der Zumutbarkeit einer Störung.

Zur Beantwortung dieser Frage ist es nötig, die Geräuschsituation am Ort des Gestörten möglichst genau abzuklären. Dabei hat es sich als sehr nützlich erwiesen, den mit der «A»-Kurve bewerteten Schallpegel während längerer Zeit (mindestens während 24 Stunden) zu registrieren.

Dies kann direkt mit einem Pegelschreiber geschehen oder indirekt von einer Tonbandaufnahme. Bei der EMPA wurde dazu ein «Zeitraffverfahren» entwickelt, das es gestattet, den Geräuschverlauf von 24 Stunden in Form von «Stichproben» auf einem einzigen Tonband mit einer «Spieldauer» von 2 Stunden aufzunehmen.

Auf Abb. 8 ist das Schema dieses Aufnahmeverfahrens dargestellt.

Das Steuergerät der Apparatur schaltet das Magnetophon automatisch während 10 Sekunden ein und während 110 Sekunden aus.

Dadurch wird eine Zeitraffung im Verhältnis von 1:12 bewirkt.

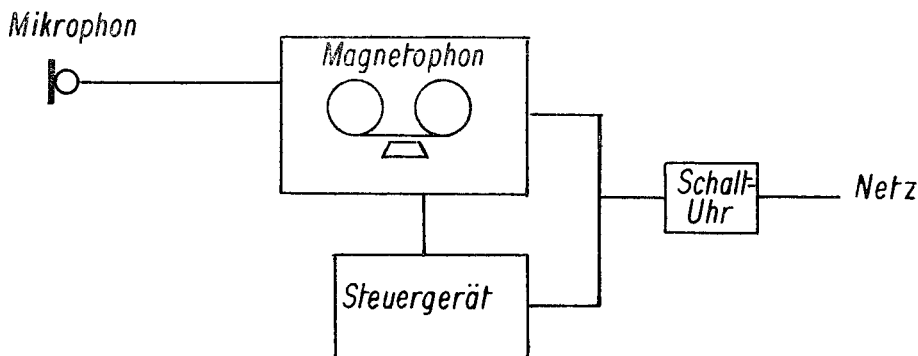


Abbildung 8 Apparatur für akustische Überwachungen des zeitlichen Verlaufs der Schallpegel (Funktion im Text)

Eine zweistündige Magnetophonspule enthält dann Geräuschaufnahmen von 24 Stunden.

Alle 2 Minuten wird während 10 Sekunden gemessen; das sind also 30 Messungen pro Stunde oder 720 Messungen während 24 Stunden. Diese Anzahl von Messungen gibt in den meisten Fällen ein sehr zuverlässiges Bild der Geräuschsituation.

Von den Magnetophonaufnahmen wird später mit einem Pegelschreiber ein Schallpegel-Zeit-Diagramm geschrieben.

Die Dauer einer einzelnen Aufnahme (10 Sekunden) genügt gerade, um auch eine Frequenzanalyse machen zu können.

Als Resultat entsteht dabei eine graphische Darstellung vom zeitlichen Verlauf der Schallpegel, die, wie die folgenden Beispiele zeigen, eine gute allgemeine Darstellung von der Geräuschsituation am untersuchten Ort gibt.

Der obere Teil der Abb. 9 zeigt die Straßenverkehrsgeräusche einer Stadt. Jedes in der Nähe vorbeifahrende Fahrzeug verursacht eine deutliche Schallspitze. Auffallend kurz ist die Dauer der effektiven Nachtruhe.

Im Beispiel auf dem unteren Teil der Abb. 9 überwiegen am Tag die Straßenverkehrsgeräusche, dagegen treten in der Nacht die Geräusche eines Industrieventilators deutlich hervor.

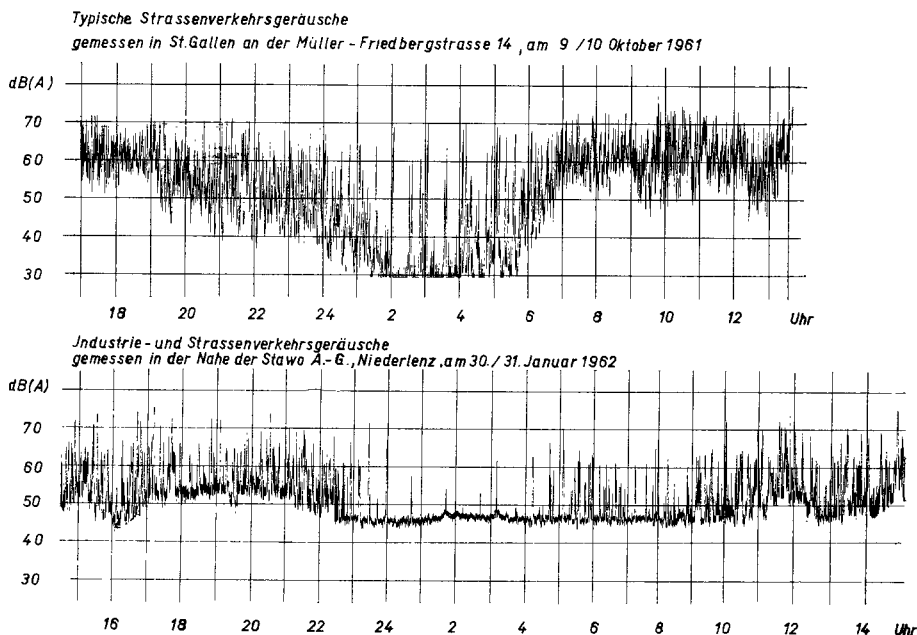


Abbildung 9 Zeitlicher Verlauf der Schallpegel, Beispiele

Aus diesen Diagrammen geht folgendes hervor:

- Einerseits kann aus der tatsächlich herrschenden Geräuschsituation auf die Zone geschlossen werden, in der sich die gestörte Wohnung geräuschmäßig – de facto – befindet;
- andererseits können besonders typische Geräuschsituationen zu bestimmten Tages- oder Nachtzeiten entdeckt werden, die mit einer Schallpegelstatistik näher untersucht werden müssen.

Die Schallpegelstatistik von besonders typischen Störgeräuschen liefert, wie bereits beschrieben, die für die Beurteilung notwendigen Angaben für den Grundgeräuschpegel, die häufigen und die seltenen Schallspitzen.

Die Eidg. Expertenkommission für Lärmbekämpfung hat sogenannte Grenzrichtwerte aufgestellt, die für die Beurteilung der gemessenen Störungen herangezogen werden können und die auszugsweise in der Abb. 10 angegeben sind [1].

Eine abschließende Beurteilung kann aber nicht durch den Vergleich der Meßwerte mit diesen Grenzrichtwerten erfolgen.

Die objektiven Daten der Störung müssen in einen weiteren Rahmen gestellt und mit anderen Gegebenheiten verglichen werden.

So sind z. B. auch Meßwerte von anderen ortsüblichen Umgebungsgläuschen notwendig, mit denen die eigentliche Störung zu vergleichen ist. Und schließlich ist auch die besondere menschliche Situation am Ort der Störung einigermaßen zu berücksichtigen.

In einem Gutachten über Schallstörungen wird der Experte nebst den Schallmessungen auch noch den Verbesserungsmöglichkeiten seine Aufmerksamkeit widmen.

Kenn-Nr.	Grundgeräusch		häufige Spitzen		seltene Spitzen		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)

Grundgeräusch: Mittelwert (durchschnittlicher Pegel, ohne Spitzen)

häufige Spitzen: 7–60 Schallspitzen pro Stunde

seltene Spitzen: 1– 6 Schallspitzen pro Stunde

Abbildung 10 Provisorische Grenzrichtwerte dB(A) der Eidgenössischen Expertenkommission für Lärmbekämpfung vom 26. 6. 59. Als Meßort wird ein Mikrophon im offenen Fenster empfohlen

Auch hier fängt die Lärmbekämpfung schon bei der Planung einer Industrie oder eines Gewerbebetriebes an. Mit einer geschickten Grundrißgestaltung und Einteilung kann viel erreicht werden.

Wiederum ist es sehr wichtig, daß möglichst leise Maschinen gekauft und lärmarme Arbeitsverfahren gewählt werden.

Mit bauakustischen Maßnahmen kann ebenfalls viel erreicht werden.

Laute Maschinen sowie Fenster, die für die Lüftung gebraucht werden, sind möglichst auf die vom Nachbar abgewendete Hausseite zu verlegen.

Wenn einfach verglaste, 3 mm starke Fensterscheiben durch 12 mm starkes Dickglas ersetzt werden, gewinnt man bereits 6–9 dB. Mit einem guten doppelverglasten Fenster (6 mm und 12 mm Glas, 5 cm Luft) gewinnt man sogar 10–15 dB an Schallisolation, was bereits viele Probleme lösen kann.

Zu beachten ist, daß auch kleine Spalten und Löcher bereits sehr schalldurchlässig sind und die Schallisolation stark vermindern.

Im Innern von lauten Räumen kann der Raumschall durch Anbringen schallabsorbierender Akustikplatten an der Decke und an den Wänden um etwa 5–10 dB gedämpft werden.

Die Luftansaug- und Auslaßöffnung von Ventilatoren, Gebläsen, Kühltürmen usw. verursachen häufig Schallstörungen, die durch das Anbringen geeigneter Schalldämpfer beseitigt werden können.

Auch eine geeignete Bepflanzung in der Umgebung des Betriebes vermag – wenn auch nur wenig – den Schall bei seiner Ausbreitung noch zusätzlich zu dämpfen.

Schließlich hat es sich als vorteilhaft erwiesen, für Industrie- und Gewerbebetriebe einen sogenannten Lärmbekämpfungsplan aufzustellen.

Damit kann leicht festgestellt werden, was bereits erreicht wurde und welche Probleme, eventuell durch Zuziehen von Fachleuten, noch zu lösen sind.

#### *Literaturverzeichnis*

- [1] Lärmbekämpfung in der Schweiz, Bericht der Eidgenössischen Expertenkommission an den Bundesrat (1963), Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale, S. 63.
- [2] *K. D. Kryter*: Monograph Supplement Nr. 1, J. Speech Hear. Dis. (1950).
- [3] *J. J. Slawin*: «Prophysdat», Leningrad (1955).
- [4] *L. L. Beranek*: Noise Reduction, McGraw Hill (1960).

Adresse des Autors: Ing. *A. Lauber*, Vorsteher der Abteilung Akustik und Lärmbekämpfung der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, EMPA, Überlandstraße 129, 8600 Dübendorf