

Akustische Messtechnik

Anwendungen im Bereich der Lärmbekämpfung

Verfasser: Martin Langhoff
Studiengang: SS/04 D4UT
Fach: Messtechnik II

Dozent: Hr. Dr. Brandt

Ort: Berlin

Datum: 06.05.2004

Gliederung

1. Einführung

2. Grundlagen der Akustik

- 2.1 Definitionen und theoretische Grundlagen
- 2.2 Größen zur Kennzeichnung der Schallimmission
- 2.3 Größen zur Kennzeichnung der Schallemission
- 2.4 Verfahren zur Schalleistungsmessung
- 2.5 Physiologie des menschlichen Ohres

3. Messtechnische Erfassung u. Verarbeitung von Lärm

- 3.1 Messkette
- 3.2 Schallwandler (Mikrofon)
- 3.3 Messgeräte

4. Normen

5. Quellennachweis

1. Einführung

Lärm kann als vom Menschen hörbarer Schall, der die Gesundheit und das Wohlbefinden beeinträchtigen kann beschrieben werden. Seine Merkmale sind der Schalldruckpegel, sein Frequenzspektrum, der zeitliche Verlauf und die Dauer seiner Einwirkung. Individuelle Merkmale des Menschen spielen dabei eine wesentliche Rolle. Um diese Größen beschreiben zu können, ist die Erfassung von messbaren physikalischen Größen, deren Auswertung sowie die Entwicklung und Umsetzung von Gegenmaßnahmen notwendig.

Dieses Skript befasst sich im Besonderen mit allgemeinen Grundlagen, technischen Ausfertigungen und Normen der akustischen Messtechnik im Bereich der Lärmbekämpfung.

Die Anwendungsgebiete der akustischen Messtechnik erstrecken sich über ein weites Gebiet. So wird die akustische Spektralanalyse von Schwingungen z.B. zur Anlagenwartung, Schallimmissionsermittlung und zum Schall- bzw. Lärmschutz eingesetzt. Mittels Ultraschall, auf den hier nicht näher eingegangen werden soll, sind des weiteren Werkstoffprüfverfahren, Durchfluss- und Längenmessung, sowie Anwendungen in der Medizin möglich.

2. Grundlagen der Akustik

2.1 Definitionen und theoretische Grundlagen

Was ist Akustik?

Akustik, als Teilgebiet der Physik, befasst sich mit Schall und seinen physikalischen, technischen, elektroakustischen, hörphysiologischen, hör- und musikpsychologischen Gesetzen und Wirkungen.

Im weiteren Verlauf soll hier vor allem auf die elektroakustischen und technischen Gesetze und Wirkungen eingegangen werden.

Definition Schall:

Schall ist eine allgemeine Sammelbezeichnung für alle mechanischen Schwingungen und Wellen eines schwingungsfähigen Systems (z.B. Luft, Wasser, etc.).

In Luft breitet sich der Schall in Form von Druckschwankungen als Longitudinalwelle aus, die dem atmosphärischen Gleichdruck überlagert sind.

Die Schallwellen bewegen sich dabei mit einer Geschwindigkeit von $c=343,8$ m/s bei einer Lufttemperatur von 20°C fort.

Modelle von Schallwellen und Schallfelder:

Von einer idealen *Ebenen Welle* spricht man, wenn eine Schallwelle von einer ebenen Membran abgestrahlt wird, die in einer Ebene schwingt.

Eine *Kugelwelle* hingegen wird durch Schwingungen in allen Ebenen einer Quelle verursacht oder wenn die Quelle eine ebene Membran besitzt, welche jedoch klein gegenüber den abgestrahlten Frequenzen ist.

In der Praxis breiten sich Schallwellen, die von einem Lautsprecher beispielsweise abgegeben werden bei hohen Frequenzen gerichtet aus, d.h. vorzugsweise in die Abstrahlrichtung (abgesehen von Beugungen und Reflexionen).

Niedrige Frequenzen dagegen werden nahezu in alle Richtungen ausgesendet.

Ein *Freifeld* (ungestörtes Feld) liegt vor, wenn im Messbereich nur eine kohärente Schallquelle existiert deren abgestrahlte Schallwellen auf kein Hindernis in der Umgebung treffen.

Von einem *Diffusen Feld* (gestörtes Feld) spricht man, wenn die eben genannten Bedingungen nicht erfüllt sind.

Definition Lärm:

Lärm ist jeder Schall, der nicht der Information des Schallempfängers dient und/oder lauter als notwendig wahrgenommen wird und zu Hörschäden führen kann. Die objektive Bewertung des Lärms mittels allgemein gültiger Größen erweist sich als äußerst schwierig, da das Empfinden jedes Menschen von seiner Physiologie, seiner Einstellung zu Lärm, seiner aktuellen Verfassung, anderen psychischen Merkmalen und Umgebungsbedingungen abhängt.

Kennzeichnung physikalischer Eigenschaften von Geräuschen:

Zwei Schallfeldgrößen beschreiben die Schallausbreitung in Luft:

1. Die Schallschnelle v und
2. Der Schalldruck p

1. Schallschnelle

Die Schallschnelle ist die Geschwindigkeit der sich bewegenden Teilchen in Gasen oder Flüssigkeiten.

Sie ist nicht zu verwechseln mit der Schallgeschwindigkeit c , welche die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwelle und wesentlich größer als die Schallschnelle in Luft ist.

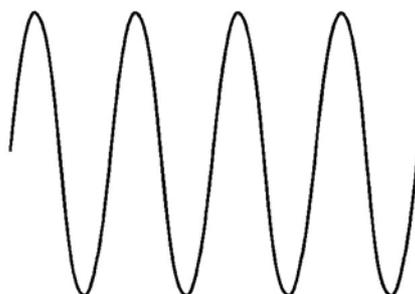
Zur Veranschaulichung des Unterschiedes zwischen Schallgeschwindigkeit und Schallschnelle stelle man sich vor, dass ein langes Rohr mit Tennisbällen nahezu vollständig ausgefüllt ist, welches die Kompressibilität der Luft modellhaft darstellt. Schiebt man nun an einer Seite zusätzlich einen Ball hinein, so wird am anderen Ende des langen Rohres mit kurzer Zeitverzögerung ein Ball herausfallen. Die Wirkung auf diesen entfernten Ball, die mit der Schallgeschwindigkeit c gleichgesetzt werden kann überträgt sich demnach wesentlich schneller, als die individuelle Schubgeschwindigkeit, die der Schallschnelle v entspricht.

2. Schalldruck

Der Schalldruck ist hierbei die charakteristische Größe für die Schallwahrnehmung durch das menschliche Gehör und spielt deshalb eine wesentliche Rolle bei der Beschreibung von Geräuschen.

Er ist eine zeitabhängige Größe: $p(t)$ mit $[p]=1 \text{ Pa}=1 \text{ N/m}^2$

Oszillografiert ergibt sich z.B. die wie im folgenden Bild dargestellte Abbildung eines reinen Sinus-Tones:



Ein größtenteils periodisch, aber nicht rein sinusförmiger Verlauf wird als Klang wahrgenommen und besteht aus der Überlagerung von unterschiedlichen Ober- und Grundschwingungen, die meist miteinander harmonisieren:

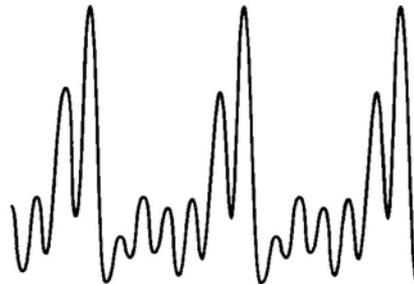


Abb.: Hrsg. Rudolf Göbel, Wissensspeicher Physik, Volk und Wissen Verlag

Gänzlich a-periodische Schwingungsverläufe werden als Geräusch identifiziert und bestehen aus einer Vielzahl von Schwingungen unterschiedlicher Amplitude und Frequenz.



Abb.: Hrsg. Rudolf Göbel, Wissensspeicher Physik, Volk und Wissen Verlag

Die in der Natur vorkommenden Geräusche sind viel zu komplex, um sie vollständig beschreiben zu können.

Daher beschränkt man sich auf wesentliche Kenngrößen ihrer Zeitfunktionen. Zur Beschreibung der Größe des Wechseldruckes wird der Effektivwert, also der quadratische Mittelwert der Zeitfunktion verwendet:

$$p_{eff} = \sqrt{1/T \cdot \int_T p^2(t) dt}$$

Der Effektivwert repräsentiert damit die von einer ebenen Schallquelle transportierte Leistung, wobei gilt: $P \sim p_{eff}^2$.

Bei der Überlagerung inkohärenter Schalldrücke addieren sich die Leistungen:

$$p_{effges}^2 = \sum_{v=1}^n p_{effv}^2$$

Zwei Schalldrücke sind inkohärent, wenn gilt:

- sie stammen von zwei unabhängigen Schallquellen
- sie werden von einer breitbandig strahlenden Schallquelle aus verschiedenen Frequenzbereichen abgegeben
- sie stammen von einer Schallquelle mit zufälliger Zeitfunktion, gehören aber zwei Schallwellen mit gegenseitiger Laufzeitdifferenz an (z.B. Direktschall und reflektierter Schall)

Der Mensch nimmt mithilfe seiner Ohren die zeitlich abhängigen Schalldruckdifferenzen wahr, die dem atmosphärischen Gleichdruck überlagert sind. Die folgenden Beträge des Schalldruckes beziehen sich daher auf die überlagernden Schalldrücke.

Für ein 1000 Hz-Ton liegt die wahrgenommenen Hör- oder Reizschwelle eines Menschen bei einem Schalldruck von $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Die obere Gehörempfindungsgrenze wird durch die Schmerzgrenze charakterisiert und stellt bei ebenfalls 1000 Hz einen Schalldruck von 20 Pa dar.

Das menschliche Ohr ist somit in der Lage, Schalldrücke über 6 Zehnerpotenzen wahrzunehmen.

Ein solcher Wertebereich ist für die Kennzeichnung von Geräuschen ungeeignet, weshalb man den Schalldruckpegel L_p unter einem logarithmischen Maß (Dekadischer Log.) eingeführt hat.

Er ist der Effektivwert des Schalldrucks, bezogen auf den Schalldruck der annähernd an der Hörschwelle existiert und wird wie folgt definiert:

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{p_{eff}^2}{p_0^2} [dB]$$

Der Schalldruckpegel besitzt physikalisch gesehen keine Einheit.

Dennoch hat man ihm zur Kennzeichnung einer logarithmischen Skala eine Einheit zugeschrieben, das Dezibel.

Der Wertebereich des Lautstärkepegels liegt damit zwischen 0 dB (Hörschwelle) und ca. 140 dB (Schmerzgrenze).

Zur Veranschaulichung seien hier typische Lautstärkepegel aufgeführt:

Geräusch	\bar{p} Pa	L_p dB
Ungefähre Hörschwelle bei 1000 Hz	$2 \cdot 10^{-5}$	0
sehr ruhiger Garten (Blätterrauschen)	$2 \cdot 10^{-4}$	20
gedämpfte Unterhaltungssprache	$2 \cdot 10^{-3}$	40
Staubsauger im Wohnraum	$2 \cdot 10^{-2}$	60
lautes Rufen in 1 m Abstand	$2 \cdot 10^{-1}$	80
Drucklufthammer in 1 m Abstand	2	100
Schmerzgrenze bei 1000 Hz (z. B. Kesselschmiede)	20	120

Im weiteren Verlauf sollen nun Kenngrößen vorgestellt werden, die zur Beschreibung der Schallimmission, sowie Schallemission dienen.

Der sehr umfangreiche Katalog dieser Kenngrößen macht hier die Einschränkung auf deren kurze Beschreibung notwendig, wobei nur auf die wichtigsten ein wenig näher eingegangen wird. Für detailliertere Informationen verweise ich auf die sich im letzten Abschnitt befindenden Literaturhinweise.

2.2 Größen zur Kennzeichnung der Schallimmission (Schalleinwirkung)

Sie dienen der Beschreibung der Schalleinwirkung auf den Menschen, die erwünscht (z.B. zur Informationsvermittlung) oder unerwünscht (im Fall von Lärm) sein kann.

Der Bewertete Schalldruckpegel:

Die Physiologie, das Hörempfinden des Menschen und weitere physikalische Eigenschaften führten zur Erkenntnis, dass der Schalldruck für die empfundene Lautstärke einer Schallquelle allein nicht repräsentativ ist.

Daher wurden verschiedene Bewertungskriterien eingeführt, die den gemessenen Schalldruck in eine Größe transformieren, die annähernd die empfundene Lautstärke widerspiegelt.

Für das Empfinden des Menschen ist die Lautstärke eines Schallsignals von großer Bedeutung.

Die sogenannte Pegellautstärke wird hierbei definiert als:

$$L_N = 10 \cdot \lg \frac{p_{eff}^2}{p_0^2} [phon]$$

Die frequenzabhängige Empfindlichkeit des Gehörs veranlasste dazu, die empfundene Lautstärke eines Referenztones über der Frequenz für verschiedene Schalldruckpegel in sogenannten Kurven gleicher Lautstärke zur einheitlichen Bewertung abzubilden.

Hierzu hat man in einer Studie einer Reihe von Personen unterschiedlichen Geschlechts und Alters einen 1 kHz-Sinus-Ton auf beide Ohren gegeben, der einen bestimmten Schallpegel besaß, z.B. 30 dB.

Nun sollten die Probanden mittels Regler und Umschalter die Lautstärke eines Tones beliebiger Frequenz so anpassen, dass sie mit der des 1 kHz-Signals identisch war.

Nach vielen Durchgängen unterschiedlicher Lautstärkepegel des Referenztones und Frequenzen des anzugleichenden Signals erhielt man folgende Kurven, die die Frequenzabhängigkeit des menschlichen Hörempfindens darstellen:

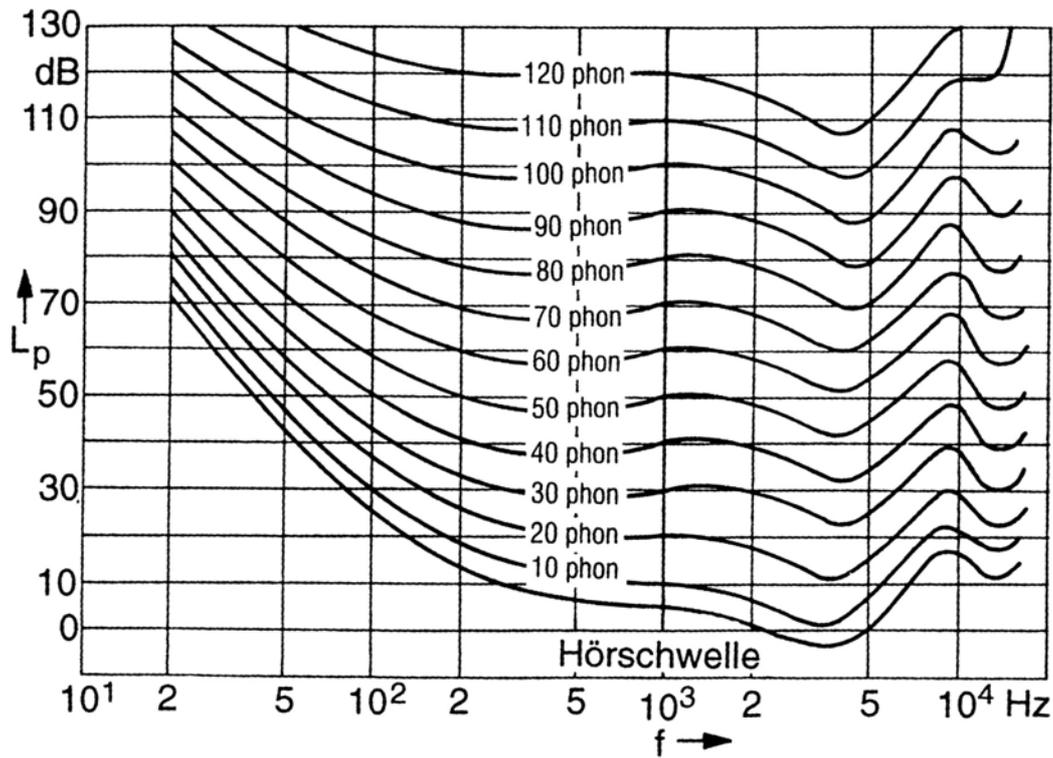


Abb.: Werner Schirmer, Technischer Lärmschutz, VDI Verlag

Klar erkennbar ist, dass tiefe und sehr hohe Frequenzen generell leiser empfunden werden als mittlere und hohe.

Weiterhin ist die Frequenzabhängigkeit bei kleinen Schalldruckpegeln größer als bei hohen.

Zur Bewertung des gemessenen Schalldruckes an einem bestimmten Ort, zieht man nun Kurven heran, die einen angenäherten inversen Verlauf haben wie die Kurven gleicher Lautstärke. Dies sind Bewertungskurven *A*, *B*, *C* und *D*, von denen die *A*-Bewertung die weltweit einzig allgemein angewandte und Norm-Vorlage ist. Die *C*-Bewertung wird in Verbindung mit Spitzenschalldruckpegeln und die *D*-Bewertung (international nicht durchgesetzt) bei der Fluglärmernmittlung verwendet. Die Bewertungskurve *A* sieht folgendermaßen aus:

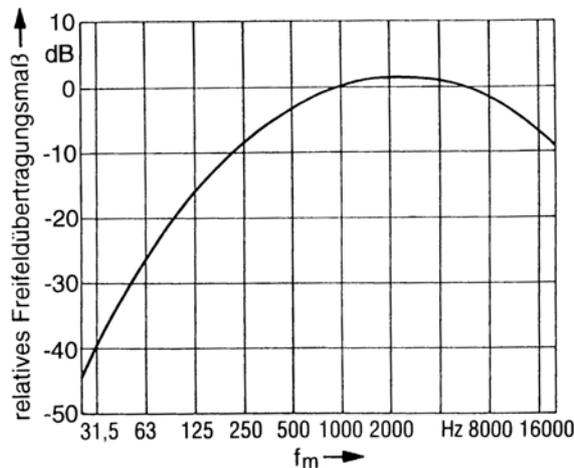


Tabelle: Werner Schirmer, Technischer Lärmschutz, VDI Verlag

Diese ist so zu verstehen, dass man bei den entsprechenden Frequenzen, die logarithmisch auf der Abszisse abgetragen sind, die auf der Ordinate linear dargestellten Lautstärkepegel vom gemessenen Wert abzieht, um so ein einheitlich repräsentatives Übertragungsmaß für die empfundene Lautstärke zu erhalten.

Für die genaue Bewertung stehen tabellierte Werte zur Verfügung:

Frequenz Hz	Übertragungsmaß dB	Frequenz Hz	Übertragungsmaß dB	Frequenz Hz	Übertragungsmaß dB
–	–	100	–19,1	1600	1,0
–	–	125	–16,1	2000	1,2
10	–70,4	160	–13,4	2500	1,3
12,5	–63,4	200	–10,9	3150	1,2
16	–56,7	250	–8,6	4000	1,0
20	–50,5	315	–6,6	5000	0,5
25	–44,7	400	–4,8	6300	–0,1
31,5	–39,4	500	–3,2	8000	–1,1
40	–34,6	630	–1,9	10000	–2,5
50	–30,2	800	–0,8	12500	–4,3
63	–26,2	1000	0	16000	–6,6
80	–22,5	1250	0,6	20000	–9,3

Tabelle: Werner Schirmer, Technischer Lärmschutz, VDI Verlag

Da die meisten Schallquellen aber ein breiteres Spektrum an Schallwellen abgeben ist die Bewertung mit einer Frequenz unzureichend. Daher führt man Schallpegelmessungen unter Verwendung von Frequenzfiltern durch oder misst Teilschalldrücke in einem Frequenz-, Terz-, oder Oktavbereich, die dann wiederum zu einem Gesamtschalldruckpegel wie folgt zusammengefasst werden können:

$$L_{ges} = L1 + \Delta L \text{ mit: } \Delta L = f(L1 - L2)$$

wobei $L1 \geq L2$ zwei Teilschalldrücke sind.

Ein Nomogramm dient dabei der logarithmischen Addition bzw. Subtraktion :

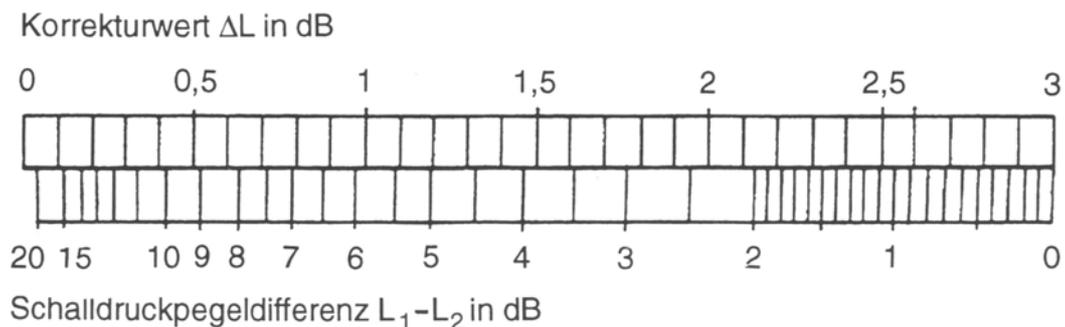


Abb.: Werner Schirmer, Technischer Lärmschutz, VDI Verlag

Unten sind die Schalldruckdifferenzen und oben der dazugehörige Korrekturwert ablesbar.

Da die Schallaufnahme in der Realität durch unterschiedliche Situationen stark von der allgemeinen A-Bewertung abweichen kann, werden für besondere Anwendungen auch gesonderte Schallpegel definiert, die den entsprechenden Verhältnissen vor Ort nahe kommen sollen.

Dies können folgende Situationen sein:

1. *Impulsschall:*

Zur Erfassung kurzzeitiger Lärmeinwirkung mit einer Zeitkonstanten von 25-75 ms, international festgelegt 35 ms bei der Effektivwertbildung, bedient man sich einer Zeitdehnerschaltung im Schallpegelmessgerät, dessen Wert mit einer größeren Zeitkonstante abklingt, sodass man den Impulsschalldruckpegel noch gut ablesen kann.

Dies wird Impulsbewertung genannt, abgekürzt *I*.

Für die Zeitbewertung stehen die Anzeigedynamikparameter schnell (fast=>*F*), langsam (slow=>*S*) und Spitze (peak=>*P*) zur Verfügung, wobei *F* und *S* den Effektivwert und *P* den Spitzenwert wieder geben.

Bei sehr impulsartigem Schall können die *F*-Schalldruckpegelwerte zw. 5 und 15 dB unter der *I*-Bewertung liegen.

2. *Äquivalenter Dauerschallpegel bzw. Taktmaximal-Mittelungspegel:*

Er dient zur Kennzeichnung zeitlich schwankender Schalleinwirkungen durch integrierende Mittelwertbildung über ein Zeitintervall *T*.

Mithilfe eines Äquivalenzparameters *q* wird die Pegelhöhe angegeben, die einer Halbierung der Einwirkungszeit gleichkommt; das heißt, dass z.B. ein bei einem *q*=3 gebildeter Dauerschallpegel von 4 h mit 80 dB bei einer Lärmeinwirkung von 2 h mit 83 dB und 8 h bei 77 dB entspricht.

Alternativ kann man den Mittelwert auch aus *n* Einzelmesswerten über einen Zeitraum *T* bilden.

3. *Beurteilungspegel:*

Dieser ist ein Maß für in einem Beurteilungszeitraum ermittelte mittlere Geräuschimmission am Aufenthaltsort von Menschen.

Er setzt sich additiv aus dem äquivalenten A-Dauerschallpegel und verschiedenen Zu- bzw. Abschlägen zusammen.

Dies sind Impulshaltigkeit, Tonhaltigkeit, Ruhezeiten und bestimmte Geräusche und Situationen.

4. *Spitzen-Schalldruckpegel:*

Er findet Anwendung bei extrem hohen und kurzzeitigen Schalldruckpegeln, wie sie beispielsweise bei Explosionen vorkommen.

Bei der Messung verwendet man die Anzeigedynamik *peak* in Verbindung mit Hoch- und Tiefpassfiltern zur Begrenzung des Messfrequenzbereiches auf 20 Hz bis 20 kHz oder der C-Bewertung.

5. *Lärmdosis:*

Sie ist eine Größe zur Beschreibung von durch Lärm verursachte Schadenswirkung und gilt für Schallpegel bis ca. 135 dB(A).

2.3 Größen zur Kennzeichnung der Schallemission (Schallabstrahlung)

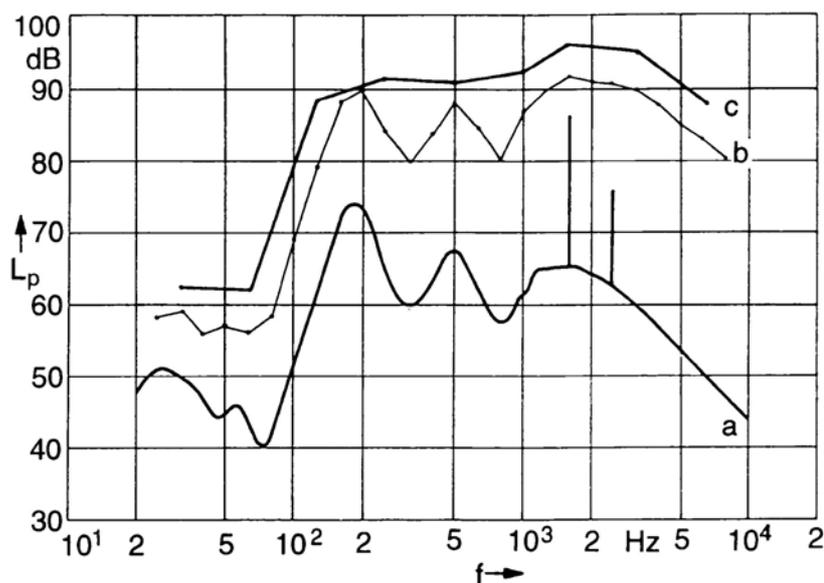
Sie dienen zur eindeutigen Kennzeichnung der Schallabstrahlung von Schallquellen unter festgelegten Aufstellungs- und Betriebsbedingungen, die daraufhin dem Vergleich mit Grenzwerten der Schallemission, der Vorausberechnung von zu erwartenden Immissionen und zur Projektierung des Lärmschutzes bei Überschreitung der Grenzwerte nutzen.

Eine der wichtigsten Einflussgrößen ist hierbei die Frequenz.

Welche Frequenzanteile ein Geräusch besitzt, kann mittels Frequenzanalyse bestimmt werden, wobei das Geräusch in seine Frequenzanteile zerlegt und durch Filtern bewertet wird, ähnlich wie bei den Bewertungsformen der Schallimmission (z.B. A-Bewertung).

Die Breite dieser Frequenzbereiche (Bandbreite) bezeichnet das analysierte Spektrum: Schmalband-, Terz- oder Oktavbandspektrum.

Zur Veranschaulichung stellt man den linear auf der Ordinate abgetragenen Schalldruck über der logarithmischen Bandmittenfrequenz oder linearen Oktav- oder Terzmittenfrequenzreihe dar, hier ein Beispiel für das mit unterschiedlicher Bandbreite ermittelte Spektrum eines von einer Maschine abgestrahlten Geräusches:



Einfluß des Filtertyps auf das Schalldruckpegelspektrum.

a Schmalbandanalyse ($\Delta f = 1$ Hz); b Terzbandanalyse; c Oktavbandanalyse.

Abb.: Werner Schirmer, Technischer Lärmschutz, VDI Verlag

1. Schalleistungspegel und Richtwirkungsmaß:

Der Schalleistungspegel ist die kennzeichnende Größe zur Beschreibung der Schallabstrahlung einer Schallquelle und wird wie folgt definiert:

$$L_W = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0} [dB]$$

Hierbei ist P die von der Schallquelle an die umgebende Luft abgegebene Leistung und P_0 die Bezugsschalleistung mit $P_0 = 10^{-12}$ W.

Das Richtwirkungsmaß D_I (directivity index) beschreibt die Richtungsabhängigkeit der Schallabstrahlung und ist definiert als:

$$D_I = L_{pi} - \overline{L_p}$$

L_{pi} stellt den Schalleistungspegel dar, der an einem bestimmten Messort auf einer kugelförmigen Fläche oder Teilen davon ermittelt wird und $\overline{L_p}$ den energetischen Mittelwert der Schalldruckpegel an allen Messorten der gleichen Fläche. Beide Größen können frequenzbewertet angegeben werden.

2. Schallintensitätspegel:

Der Schallintensitätspegel L_J wird ähnlich wie der Schalleistungspegel definiert als:

$$L_J = 10 \cdot \lg \frac{J_n}{J_0} [dB]$$

Hierbei sind J_n Zeitmittel der Schallintensität und J_0 der Bezugswert der Schallintensität mit $J_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

Die Schallintensität selbst ist eine vektorielle Größe, die sich aus dem Schalldruck p und der Schallschnelle v zusammensetzt. Somit lässt sich die Schallausbreitungsrichtung an einem Messort direkt bestimmen und mittels Integration über der einschließenden Hüllfläche die gesamte abgegebene Schalleistung der Schallquelle bestimmen.

3. Schallenergiepegel:

Der Schallenergiepegel L_E dient zur Erfassung von einer impulsartig abgestrahlten Schallenergie und wird durch Integration der Schalleistung über dem gesamten Impulsvorgang einschließlich der Abklingzeit gewonnen.

4. Schalldruckpegel an festgelegten Messorten:

Für Schallquellen mit sehr großen Abmessungen, etwa wie Kühltürme, oder bei vorgegebenen Sicherheitsabständen zur Schallquelle verwendet man zur Kennzeichnung der Schallemission den Schalldruckpegel am Bezugsradius in der horizontalen Ebene, wobei die vorzugsweise acht Messorte gleichmäßig über den Umfang eines Messkreises verteilt sind.

Bei der Übertragung der so gewonnenen Messwerte auf weiter entfernte Orte müssen diese im sogenannten Fernfeld der Schallquelle liegen, was im Allgemeinen dann der Fall ist, wenn der Radius des Messkreises größer als die doppelte Abmessung der Quelle ist.

5. Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz:

Der Emissionsschalldruckpegel L_{pA} ist eine Maschinenbezogene Kenngröße, die an einem festgelegten Arbeitsplatz unter festen Betriebsbedingungen dem A-Schalldruckpegel entspricht, wobei hier jedoch sämtliche Fremdgeräusche und Raumrückwirkungen ausgenommen sind.

2.4 Verfahren zur Schalleistungsmessung

Einen groben Überblick über genormte Messverfahren soll die folgende Tabelle bieten:

Norm	Genauigkeits- klasse	Meßverfahren	Geräuschart	Vergleichsstandard- abweichung σ_R für L_{WA}
ISO 3741 [25]	1	Hallraum- verfahren	breitbandig stationär	$1,5 \text{ dB} \leq \sigma_R \leq 3,0 \text{ dB}^*)$
ISO 3742 [26]	1	Hallraum- verfahren	schmalbandig tonal	$1,5 \text{ dB} \leq \sigma_R \leq 3,0 \text{ dB}^*)$
ISO 3743 [27]	2	Hallraum- verfahren	beliebig	$\sigma_R \leq 2,0 \text{ dB}$
ISO 3743-1 [28]	2	Vergleichs- verfahren (Hallraum)	breit-/schmal- bandig, tonal stationär	$\sigma_R \leq 1,5 \text{ dB}$
ISO 3744 [29]	2	Freifeld- verfahren	alle Arten	$\sigma_R \leq 1,5 \text{ dB}$
ISO 3745 [30]	1	Freifeld- verfahren	alle Arten	$\sigma_R \leq 1,0 \text{ dB}$
ISO 3746 [31]	3	Freifeld- verfahren	alle Arten	$\sigma_R \leq 4,0 \text{ dB}$ tonal: $\sigma_R \leq 5,0 \text{ dB}$
ISO 3747 [32]	2	Vergleichs- verfahren	keine Einzel- impulse	$1,5 \text{ dB} \leq \sigma_R \leq 3,0 \text{ dB}^*)$
ISO 3748 [33]	2	Freifeld- verfahren	keine Einzel- impulse	$\sigma_R \leq 2,0 \text{ dB}$
ISO 9614-1 [34]	1, 2 oder 3	Intensitäts- verfahren	zeitlich stationär	von Genauigkeits- klasse abhängig

*) σ_R für L_{WA} frequenzabhängig

Tabelle: Werner Schirmer, Technischer Lärmschutz, VDI Verlag

Die Verfahren im Einzelnen:

Die folgenden Verfahren sollen hier nun kurz beschrieben werden.

Sie dienen zur Bestimmung der von einer Schallquelle abgegebenen Schalleistung, auf der Basis von Schalldruckpegelmessungen.

Messfehler, die durch die Umgebungsstruktur, Störgeräusche und Idealisierung der Messbedingungen verursacht werden, korrigiert man im Allgemeinen durch additives Hinzufügen von Korrekturkonstanten (Zuschläge/Abschläge) bei der Berechnung der Schallpegel.

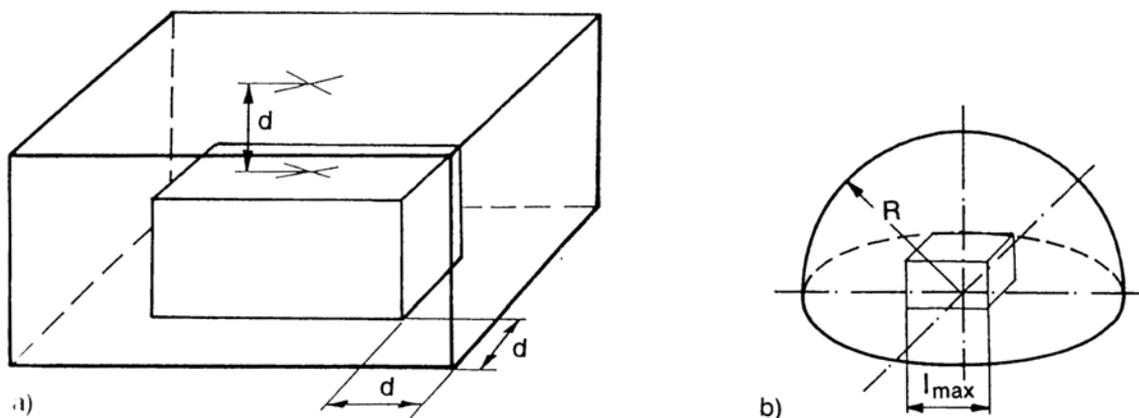
Eine genauere Beschreibung der zu berücksichtigenden Fehlerquellen sind in der angegebenen Literatur zu finden.

1. Freifeldverfahren:

Mit dem Freifeldverfahren misst man die von einer Schallquelle abgegebene Schallleistung, welche sich aus der Schallintensität über einer Messfläche integriert ergibt:

$$L_W = \overline{L_p} + 10 \cdot \lg \frac{S}{S_0} [dB]$$

Die Messfläche S , mit ihrer Bezugsfläche $S_0 = 1 \text{ m}^2$, wird dabei so gewählt, dass die Schallschnele ν senkrecht durch sie hindurchtritt, wobei in der Praxis die Wahl meist auf eine kugel- bzw. halbkugelförmige Fläche fällt, bei weniger anspruchsvollen Messungen auch auf eine quaderförmige. Diese wird dann in gleich große Teilflächen zerlegt und jeder dieser Teilflächen ein Messort zugeordnet.



Meßflächen

- a) quaderförmige Meßfläche;
- b) halbkugelförmige Meßfläche.

d Meßabstand, R Radius der Meßfläche, l_{\max} maximale Linearabmessung des Prüfobjektes.

Abb.: Werner Schirmer, Technischer Lärmschutz, VDI Verlag

2. Hallraumverfahren:

Dieses Verfahren dient zur Bestimmung des Schallleistungspegels bei Schallquellen, die in einem Raum einen zeitlich konstanten Schall abstrahlen, wobei sich durch reflektierende Flächen ein eingeschwungener Zustand einstellt.

Hierzu werden entweder an diskreten Messorten im Raum oder entlang einer Mikrofonmessstrecke die Schalldruckpegel bestimmt und führen mit der folgenden Berechnungsformel bei A =äquivalente Schallabsorptionsfläche und $A_0=4\text{m}^2$ Bezugsfläche über den Mittelwert zum Gesamtpegel:

$$L_W = \overline{L_p} + 10 \cdot \lg \frac{A}{A_0} [dB]$$

3. Vergleichsverfahren:

Grundlage hierfür ist die Messung des Schalldruckpegels des Prüfobjektes und die Kenntnis des Schalldruckpegels einer Vergleichschallquelle an festgelegten Messorten, welche dem Hallraum- oder Freifeldverfahren entsprechen können. Wie auf der folgenden Grafik zu erkennen ist, werden vorzugsweise Vergleichs- und Prüfschallquelle gegeneinander ausgetauscht und die Messung zweimal durchgeführt.

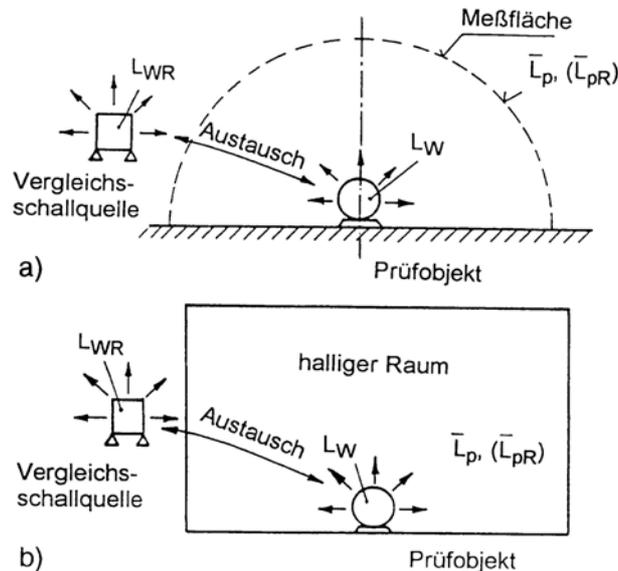


Abb.: Werner Schirmer, Technischer Lärmschutz, VDI Verlag

4. Kanalverfahren:

Dieses Verfahren ist besonders gut zur Bestimmung der Schalleistung von Maschinen geeignet, die sich in einem Strömungskanal befinden. Die Berechnung entspricht der des Freifeldverfahrens, wobei jedoch folgende Voraussetzungen erfüllt sein müssen:

1. Am Kanalende dürfen keine Schallreflexionen auftreten und
2. in radialer und Umfangs-Richtung dürfen keine Kanaleigenschwingungen vorhanden sein; d.h., dass der Kanalquerschnitt kleiner als die halbe Luftschallwellenlänge sein muss.

5. Intensitätsverfahren:

Das Intensitätsverfahren eignet sich sehr gut zur Lokalisierung von Geräuschquellen und ist vorteilhaft bei der Messung unter Betriebsbedingungen, da einerseits der ortsabhängige Umschlag von positiver in negativer Intensität (Schalleinfall von vorn oder hinten) exakt bestimmt werden kann und andererseits die parasitären Geräuschanteile (Raumrückwirkung und Störschall) weitestgehend eliminiert werden können.

Gemessen werden Schalldruck und prinzipiell die Schallschnelle, die zusammen die Intensität ergeben:

$$\vec{J} = \overline{p(t) \cdot \vec{v}(t)}$$

Des Weiteren existieren eine Reihe weiterer Verfahren, die sich auf die eben beschriebenen stützen und den Anwendungsfällen Nachprüfung angegebener Geräuschemissionswerte und Geräuschquellenfindung angepasst sind; näher beschrieben in der angegebenen Literatur.

2.5 Physiologie des menschlichen Ohres

Es erscheint sinnvoll, beim Entwickeln von akustisch technischen Systemen und Verfahren auf die Physiologie des menschlichen Ohres einzugehen und seine Funktionsweise zu analysieren, um so ein brauchbares Maß für die Schalleinwirkung ermitteln zu können.

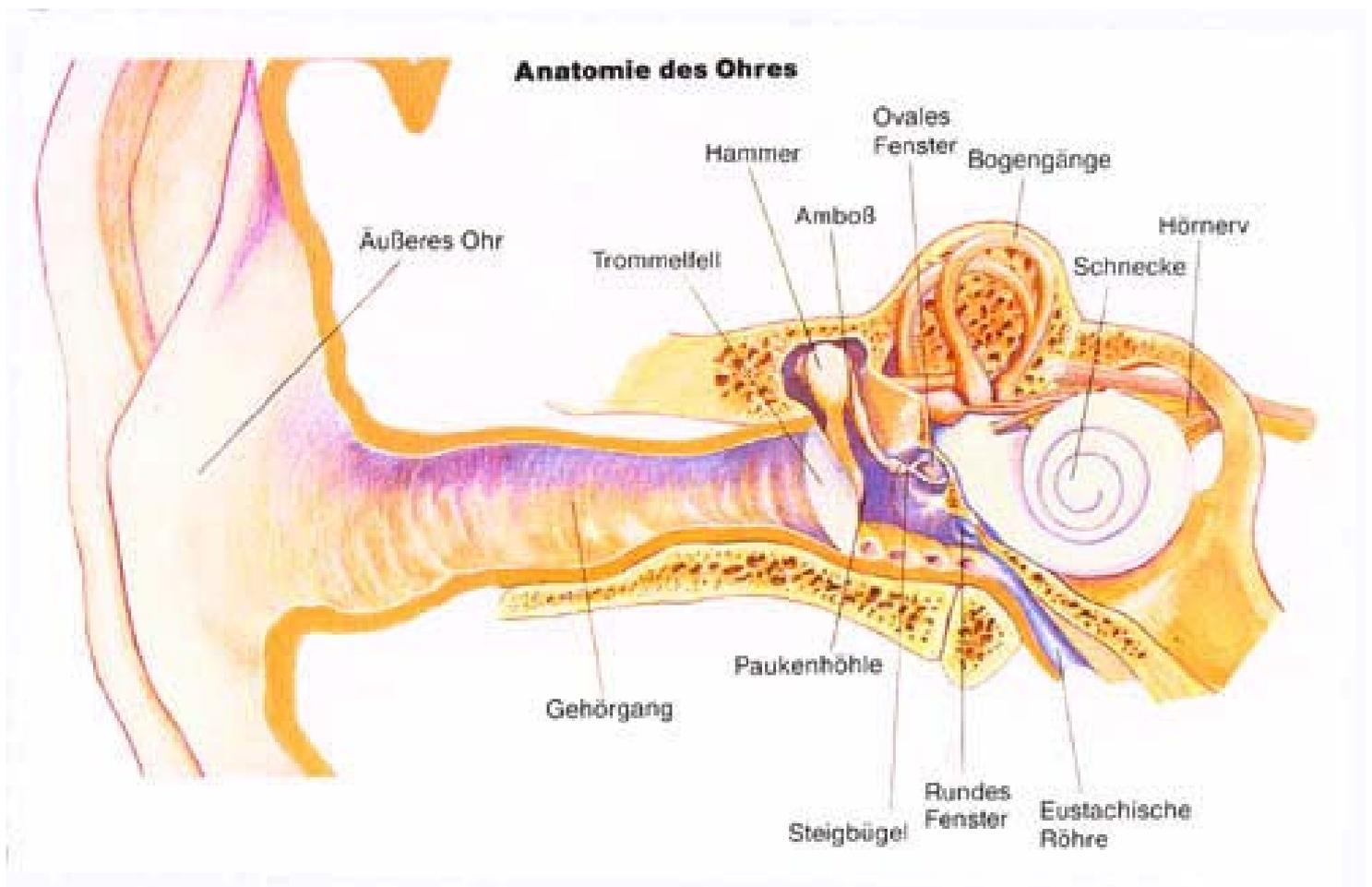
Nach der Frequenz des abgegebenen Schallsignals ordnet man Schallwellen zwischen 20 Hz und 20 kHz dem Hörschall zu, etwa der, den der Mensch als Klänge, Geräusch oder Ton wahrnehmen kann.

Jenseits der oberen Hörgrenze spricht man vom Ultraschall, welcher beim Menschen kein Hörempfinden auslöst.

Unterhalb der unteren Schallgrenze, also im Infraschallbereich, nimmt man nur einzelne Impulse wahr.

Technische Anwendungen findet man im gesamten Frequenzspektrum des Schalls. Das Grundprinzip der Schallwandlung in auswertbare Informationen soll am Beispiel des menschlichen Ohres erläutert werden.

So lässt sich ein äußerer Teil mit Gehörgang, Ohrmuschel und Mittelohr von einem inneren Teil, dem Innenohr, abgrenzen:



Die Wellenbewegungen des Schalls werden durch das äußere Ohr empfangen und durch den Gehörgang geleitet. Sie versetzen das Trommelfell in Schwingungen, diese Schwingungen werden über die Gehörknöchelchenreihe des Mittelohres verstärkt und an das ovale Fenster übertragen. Hinter dem ovalen Fenster liegt das Innenohr mit der Schnecke:

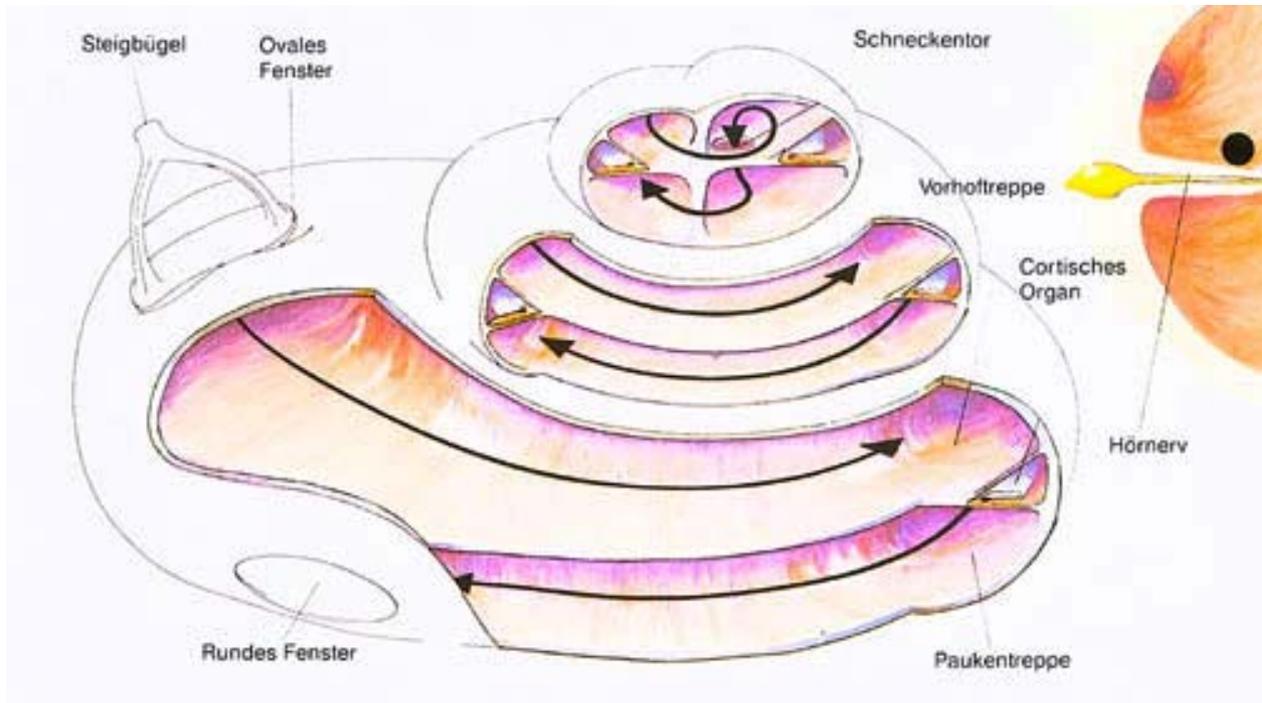


Abb.: http://www.stbg.de/sich_ges/laerm/laerm08.htm (29.03.04)

Die Schnecke ist ein spiralförmiger, flüssigkeitsgefüllter Gang. Die Druckwelle wird nun über die Membran des ovalen Fensters an die Flüssigkeit weitergeleitet und wandert bis zur Spitze der Schnecke, verformt dabei die sog. Basalmembran und erregt letztendlich das eigentliche Hörorgan – das Cortische Organ – mit seinen über 30.000 hochempfindlichen Haarzellen:

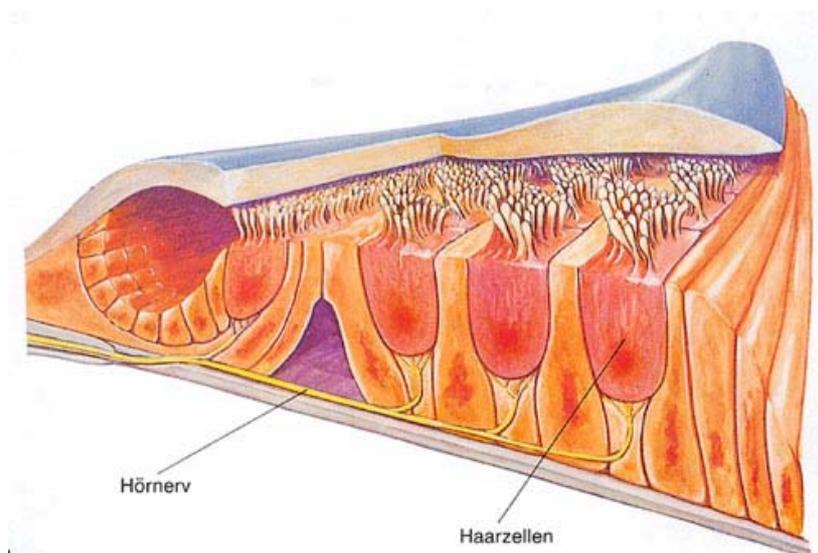


Abb.: http://www.stbg.de/sich_ges/laerm/laerm08.htm (29.03.04)

Hier wird die Bewegungsenergie in elektrochemische Energie umgewandelt und gelangt über die Hörnerven als Impuls an die Hörzentren des Gehirns.

3. Messtechnische Erfassung u. Verarbeitung von Lärm

Ziel der Messapparatur ist es, den Schall als analoge Größe in elektrische Signale umzuwandeln, die dann betragsmäßig bestimmt, ausgewertet, gefiltert, informationstechnisch weiterverarbeitet und gespeichert werden können. Zur Ermittlung der Geräuschenstehung sind zudem noch Schwingungserreger notwendig, die in einer definierten Weise Wechselkräfte auf das Messobjekt ausüben, hier aber nicht näher beschrieben werden sollen.

3.1 Messkette

Der Grundaufbau einer allgemeinen Messkette zur Ermittlung von Schall- und Schwingungskenngrößen sei in der folgenden Abbildung dargestellt:

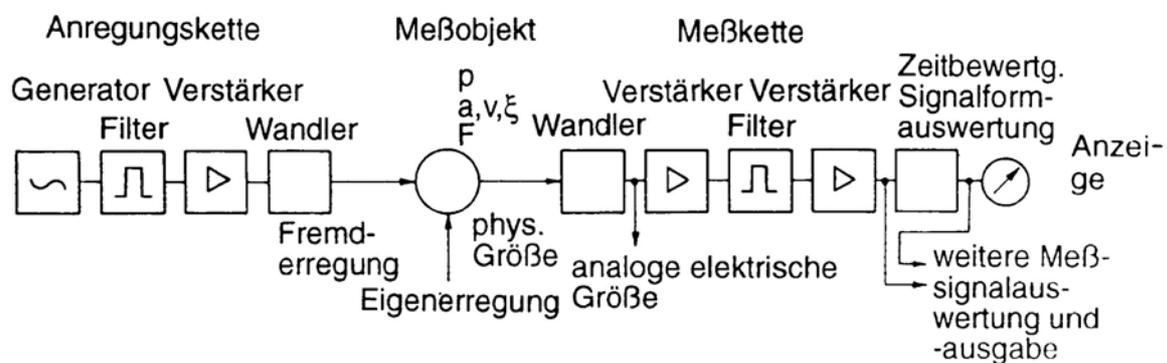


Abb.: Werner Schirmer, Technischer Lärmschutz, VDI Verlag

Die Entwicklung der letzten Jahre geht mittlerweile in Richtung Anwendung digitaler Methoden, die den Bereich der Erzeugung von Signalen in der Anregungskette bzw. Verarbeitung in der Messkette betrifft.

3.2 Schallwandler (Mikrofon):

Das wohl wichtigste Instrument bei der Schallmessung ist das Mikrofon. Es dient zur Wandlung des Schalldruckes in ein elektrisch analoges Signal.

Einteilung der Mikrofontypen nach physikalischem Funktionsprinzip:

1. Kohlemikrofon (Widerstandsänderung)
2. Kristall- bzw. Keramikmikrofon (piezoelektrische Spannungserzeugung)
3. Tauchspulen- oder Dynamisches Mikrofon (Tauchspuleninduktionsprinzip)
4. Bändchenmikrofon (Induktion einer Leiterschleife im Magnetfeld)
5. Magnetischer Wandler (Magnetflussänderung durch Luftspaltschwankung)
6. Kondensatormikrofon (Kapazitätsänderung eines Kondensators)
7. Elektretmikrofon (Änderung eines elektrischen Feldes)

1. Kohlemikrofon:

Es besteht aus einer mit Kohlegrieß (Körner) gefüllten Mikrofonkapsel, die zwischen zwei Elektroden gelagert ist. Die eine der beiden ist eine elektrisch leitfähige dünne Membran, welche durch den auftreffenden Schall in Schwingungen versetzt wird, die andere eine Metallplatte.

Eine an die Elektroden anliegende Gleichspannung wird durch die von den Schwingungen der Membran verursachte Widerstandsänderung moduliert und kann nach der Auskopplung des Gleichspannungsanteils anschließend verstärkt und weiter verwendet werden.

Das Kohlemikrofon ist im Gegensatz zu den hier folgenden Typen ein aktiver Wandler, der die für den Betrieb benötigte Energie nicht aus der Schallenergie gewinnt, sondern aus einer Spannungsquelle.

Die Wirkung ist nicht umkehrbar; d.h., dass bei Anlegen einer Wechselspannung am Ausgang des Mikrofons kein Schall entstehen kann.

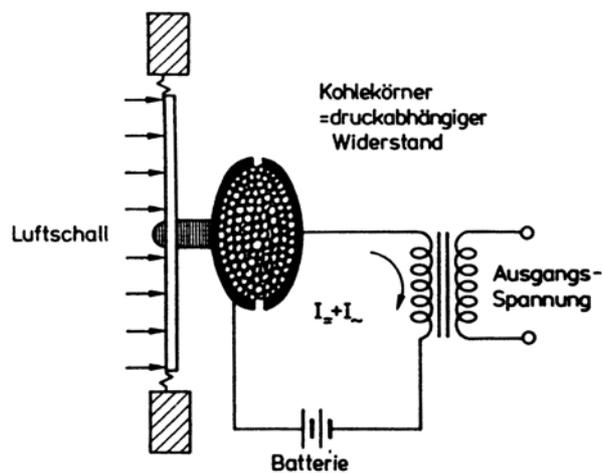


Abb.: Zollner und Zwicker, Elektroakustik, Springer-Verlag

Der schlechte Frequenzgang eines solchen Mikrofons und dessen hoher Klirrfaktor (Maß für nichtlineare Verzerrungen eines Signals) sprechen gegen eine Verwendung im Bereich der Messtechnik.

Das Anwendungsgebiet solcher Mikrofone liegt vor allem in der Telekommunikationstechnik und für elektronische Signalerkennung.

2. Kristall- und Keramikmikrofon:

Eine sich durch den Schall angeregte Membran bewirkt durch Druck auf einen Kristall bzw. auf eine spezielle Keramik den piezo-elektrischen Effekt und führt zu einer wechselnden Spannung am Kristallabgriff.

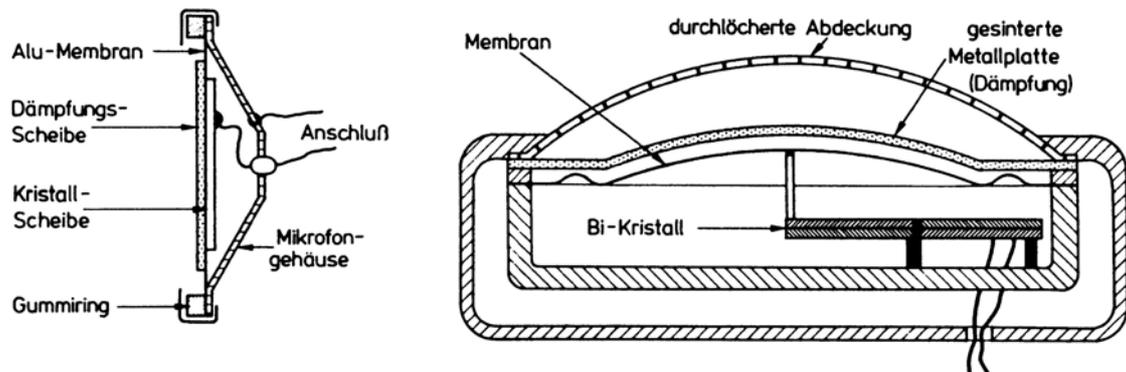


Abb.: Zollner und Zwicker, Elektroakustik, Springer-Verlag

Die Übertragungseigenschaften eines Kristall- oder Keramikmikrofons sind nicht so linear, wie die eines Kondensatormikrofons, was den Einsatz auf Sprachübertragung und in Funk- und Diktiergeräten oder bei geringeren Ansprüchen in der Messtechnik (einfache Handgeräte) beschränkt.

3. Tauchspulenmikrofon oder Dynamisches Mikrofon:

An einer Membran ist eine Tauchspule befestigt, die in eine zylinderförmige Öffnung eines Permanentmagneten eintauchen kann. Eintreffende Schallwellen versetzen die Membran und damit die Spule in Schwingungen. Durch die Bewegung der Spule im Dauermagnetfeld entsteht in der Spule durch Induktion ein dem Schall entsprechendes elektrisches Signal, welches wiederum verstärkt und weiterverwendet werden kann.

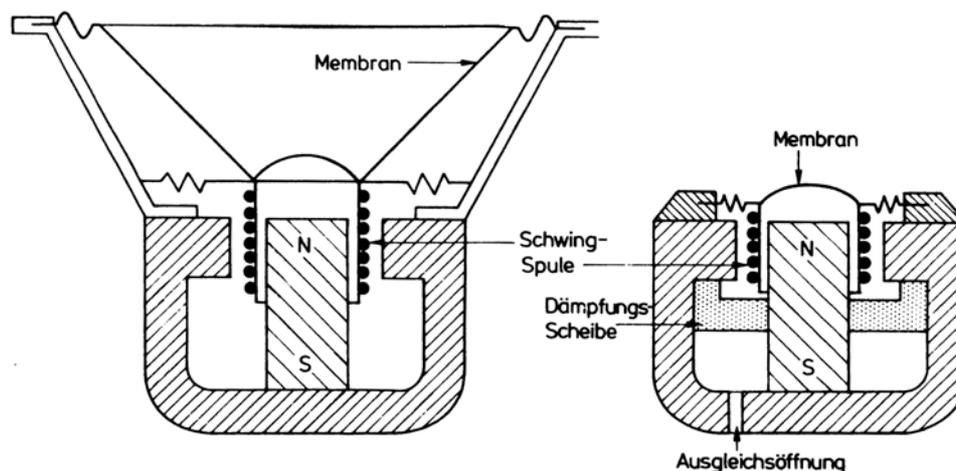


Abb.: Zollner und Zwicker, Elektroakustik, Springer-Verlag

Das Dynamische Mikrofon besitzt recht gute Übertragungseigenschaften, ist relativ preiswert und betriebssicherer als die meisten anderen Mikrofonarten. Sein Einsatzgebiet liegt vorzugsweise in der Veranstaltungs-, Radio- und Rundfunk-, sowie Homerecording-Technik. In der Messtechnik wird es jedoch relativ selten eingesetzt, da die Trägheit der Membran zu einem schlechteren Übertragungsverhalten im hohen Frequenzbereich führen und niedrige Signalpegel stärker fehlerbehaftet sind.

4. Bändchenmikrofon:

Dies ist eine Sonderform des Dynamischen Mikrofons.

Es besitzt statt einer gesonderten Membran ein ca. 2µm dickes, 2mm breites und 3cm langes Aluminiumbändchen, welches im Spalt eines Permanentmagneten aufgehängt ist. Die darin induzierte Spannung wird durch einen Übertrager (Trafo) verstärkt.

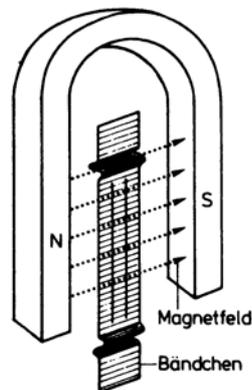


Abb.: Zollner und Zwicker, Elektroakustik, Springer-Verlag

Das Bändchenmikrofon bietet deutlich bessere Übertragungseigenschaften als das Dynamische Mikrofon, ist aber nicht so robust und widerstandsfähig.

In der Messtechnik kann es als Schallschnelleempfänger eingesetzt werden, da die Resonanzfrequenz des Bändchenmikrofons im unteren Übertragungsbereich liegt, wodurch die Frequenz näherungsweise keinen Einfluss auf die gemessene Druckdifferenz nimmt. Die Ausgangsspannung ist somit proportional zur Schallschnelle v .

Man bezeichnet solche Mikrofone auch als Druckgradientenempfänger.

5. Magnetischer Wandler:

Im Gegensatz zum Dynamischen Mikrofon befindet sich der Leiter (Induktionsspule) beim Magnetischen Wandler in Ruhe. Eine federnd gelagerte Metallmembran dient als Jochabschluss (Anker) eines darunter gelagerten Permanentmagnet, um den die Spule gewickelt ist.

Zwischen Anker und Magnet befindet sich eine Luftspalt auf jeder Seite, der je nach Druckänderung durch den eintreffenden Schall kleiner und größer wird.

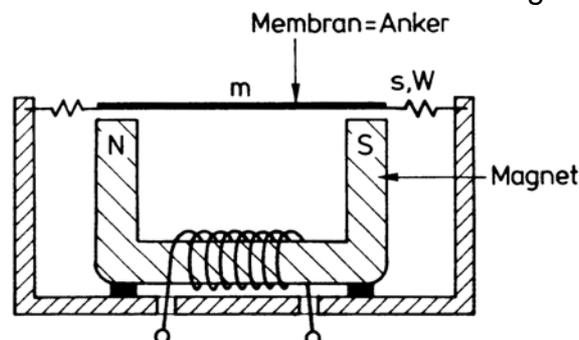


Abb.: Zollner und Zwicker, Elektroakustik, Springer-Verlag

Der Magnetische Wandler besitzt ähnliche Übertragungseigenschaften wie das Kohlemikrofon und wird in der Messtechnik ebenfalls nicht angewendet, wohl aber z.B. in der Kommunikationstechnik.

6. Kondensatormikrofon:

Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau und die Grundschaltung eines Kondensator-Messmikrofons:

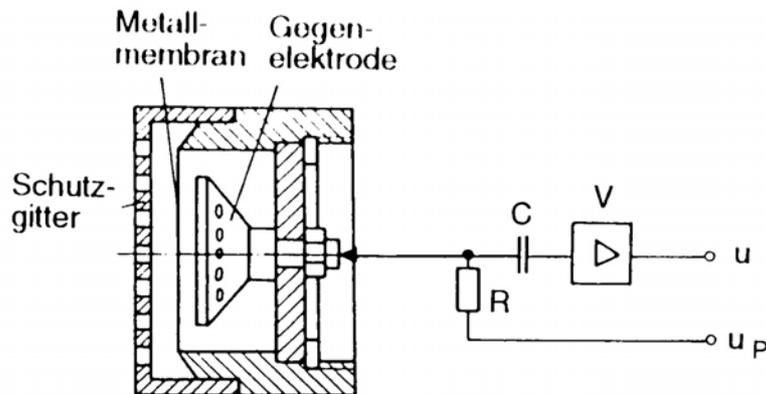


Abb.: Werner Schirmer, Technischer Lärmschutz, VDI Verlag

Das Kondensatormikrofon basiert auf der Grundlage der Kapazitätsänderung eines Platten-Kondensators, dessen Plattenabstand gemäß $C=Q/E \cdot d$ variiert wird. Beim Mikrofon stellt eine dünne hinter einem Schutzgitter befestigte Metallmembran eine Elektrode dar, der dahinterliegende Metallkegel die Gegenelektrode. Auftreffende Schalldruckschwankungen biegen die dünne Metallmembran durch und führen zwangsläufig zur Kapazitätsänderung.

Die Trägheit des Systems verursacht jedoch eine zeitliche Differenz beim Ausgleich der Ladungen, was zu einer dem Schalldruck proportionalen Spannungsänderung am Ausgang führt.

In der Messtechnik werden vorzugsweise Kondensatormikrofone für sehr präzise Messungen verwendet.

Sie haben zumeist einen stabileren und genaueren Frequenzverlauf als Dynamikmikrofone, insbesondere bei hochfrequenten Signalen und kleinen Amplituden.

7. Elektretmikrofon:

Das Elektretmikrofon ist dem des Kondensatormikrofons sehr ähnlich, erzeugt das notwendige elektrische Feld jedoch ohne äußere Spannungsquelle.

Es besitzt eine metallisierte Kunststoffmembran, die durch gezielten Beschuss mit Ladungsträgern zusammen mit der darunter liegenden Gegenelektrode ein elektrostatisches Feld aufbaut.

Die schwingende Membran verursacht eine dem Schall äquivalente Änderung des elektrischen Feldes, was als Spannungsänderung am Ausgang abgenommen werden kann, jedoch noch verstärkt werden muss.

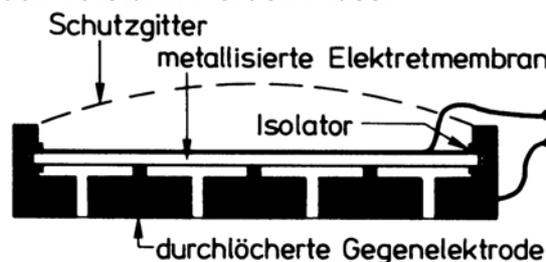


Abb.: Zollner und Zwicker, Elektroakustik, Springer-Verlag

Aufwendig konstruierte Elektretmikrofone können die Eigenschaften eines Kondensatormikrofons erreichen und werden alternativ messtechnisch verwendet.

Einteilung der Mikrofontypen nach ihrer Richtcharakteristik:

1. Kugelmikrofon
2. Niere
3. Super- und Hyperniere
4. Achtermikrofon
5. Keule (Interferenzempfänger)

Die Richtcharakteristik dieser Mikrofone wird durch ihr Vermögen beschrieben, den Schall aus bevorzugt bestimmten Richtungen aufzunehmen und reicht von kugelförmig bis hin zu annähernd linear.

1. Kugelmikrofon:

Das Kugelmikrofon nimmt den Schalldruck näherungsweise aus allen Richtungen gleichermaßen stark auf.

2. Niere:

Es gehört zu den Richtmikrofonen und reagiert auf Schalldruckdifferenzen zwischen Vorder- und Rückseite der Membran (Druckgradientenempfänger).

Die maximale Empfindlichkeit des Mikrofons ist vorn und nimmt zu den Seiten hin bis zur Rückseite ab. Die Konstruktion des Gehäuses verbessert die Richtungsabhängigkeit.

3. Super- und Hyperniere:

Die Richtcharakteristik lässt sich im Wesentlichen durch geeignete Schallführung im Innern des Mikrofons steigern und führt zu den Modellen der Super- bzw. Hyperniere.

4. Achtermikrofon:

Es arbeitet ebenfalls als Druckgradientenempfänger und dient zur Aufnahme des Schalls aus zwei gegenüberliegenden Richtungen.

5. Keule:

Seine Richtwirkung ist besonders stark ausgeprägt.

An der Seite befinden sich exakt berechnete Schlitze, die eine kontrollierte Frequenz des eintreffenden Schalls hervorrufen. Seitlich eintreffender Schall wird durch näherungsweise vollständige Auslöschung unterdrückt und frontal aufgenommener verstärkt.

Der Nachteil dieser Mikrofone liegt jedoch im eingeschränkten Frequenzgang gegenüber den anderen Typen.

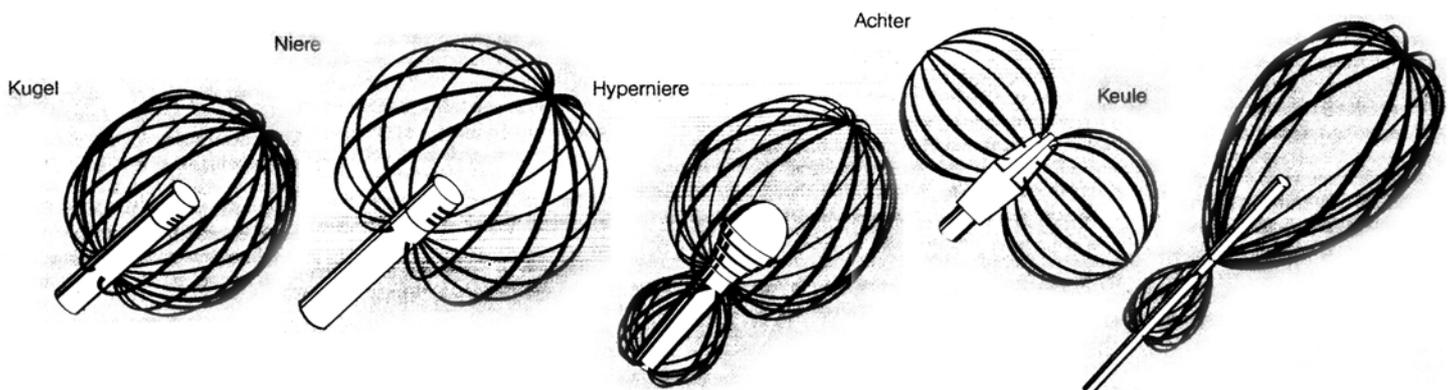


Abb.: Bernd Enders, Lexikon Musikelektronik, VEB Deutsche Verlag für Musik Leipzig

3.3 Messgeräte:

Messgeräte existieren in verschiedenen Ausführungen, Größen und Genauigkeitsklassen nach internationalen Standards (DIN IEC 651/12.81 Schallpegelmesser, DIN IEC 804/01.87 Integrierende mittelwertbildende Schallpegelmesser), die der entsprechenden Anwendung angepasst sind und in folgenden Konstruktionen im Handel erhältlich sind:

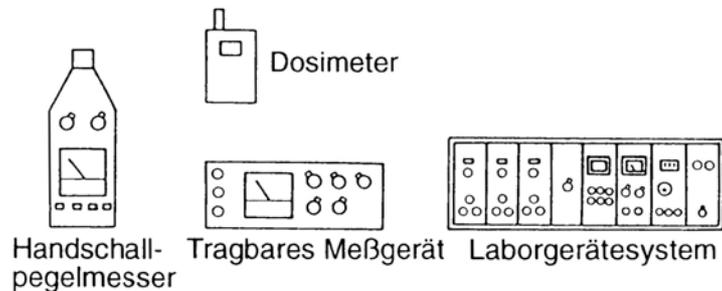


Abb.: Werner Schirmer, Technischer Lärmschutz, VDI Verlag

1. Handschallpegelmesser:

Der Schallpegelmesser ist ein eichfähiges Handgerät der Klasse 1 ($|u|=0,7\text{dB}$). Er wandelt über ein fest angebrachtes Kondensatormikrofon die auftreffenden Schallwellen in elektrische Signale als Effektivschalldruckpegel um und verarbeitet die sie entsprechend den DIN- bzw. IEC-Vorschriften für Schallpegelmesser. Dabei nimmt er die gewählte A- oder C- inkl. der Zeitbewertung vor. Ausgegeben werden die Werte über LCD-Analog- oder Digitalanzeige, LED-Zeilen oder Zeigerinstrument.

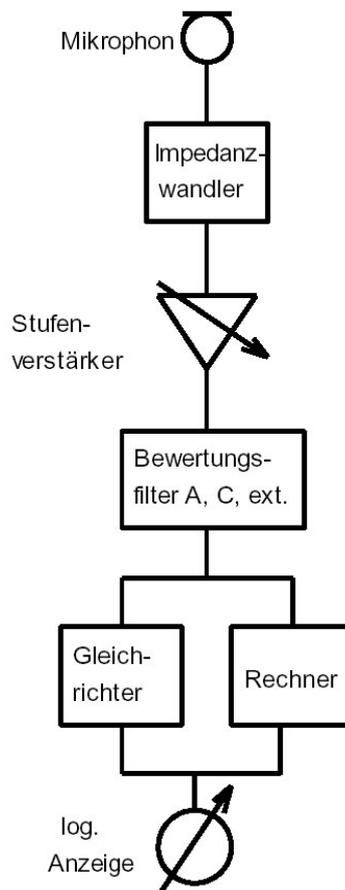


Abb.: Messtechnik 1, Internet, http://www.isi.ee.ethz.ch/education/lectures/ak1/ak1_link/va1-4.pdf (29.03.04)

2. Tragbare Messgeräte:

Sie sind umfangreicher als Handschallpegelmesser ausgestattet und in tragbaren Gehäusen mit separatem Mikrofon untergebracht, die auch die Form eines Handschallpegelmessers haben können.

Dabei stehen mehrere Bewertungskurven, Oktav- und Terzfilter, sowie unterschiedliche Zeitbewertungen zur Verfügung; auch für die Integration über einen größeren Zeitraum.

Die Anzeige ist meist als Digital- oder Analog- LCD-Anzeige gefertigt und es besteht die Möglichkeit weitere Geräte anzuschließen.

3. Labormessgeräte:

Labormessgeräte sind als kompaktes Einzelgerät oder als Komponenten-System bzw. Rechnergestützte Messeinrichtungen erhältlich.

Sie können z.B. aus Mikrofonvorverstärker, externe Mikrofonen, Umschalter, Filter, prozessorgesteuerte Einschübe, Speicher, Plotter und Anzeigergeräte wie die der tragbaren Geräte bzw. Monitore zusammengesetzt sein.

Damit ist der Anwender in der Lage über die einfache Ermittlung des Schallpegels hinaus umfangreiche Messverfahren anzuwenden und damit beispielsweise Schallintensität, und Schallleistung zu ermitteln und auszuwerten.

4. Dosimeter:

Ist die Lärmbelastung auf den Menschen z.B. an Arbeitsplätzen festzustellen, so muss oft über einen großen Zeitraum gemessen werden, wobei die Person solch ein Dosimeter an der Kleidung trägt.

Es stellt den integrierten quadratische Schalldruckpegel über den Messzeitraum dar.

5. Lautheits-Messgerät:

Entgegen der Normgerechten Bestimmung des Schalldruckes existiert eine weitere Möglichkeit die Schalleinwirkung auf den Menschen nach Zwicker zu bestimmen.

Sie basiert auf der Grundlage der Lautheitsbestimmung, wobei die spektrale Zusammensetzung des Schalls gemäß DIN 45631 berücksichtigt wird; genauer als die zuvor beschriebene Frequenzanalyse.

Das Verfahren schließt die Art des vorherrschenden Schallfeldes und die physiologischen Eigenschaften wie z.B. Verdeckungseffekte des Ohrs ein.

Mittels Mehrfachmessung in 21 verschiedenen Terzfiltern über das Hörspektrum, nachgeschalteten gehöradäquaten Amplituden- und Zeitbewertungen und der Aufsummierung der Teillautheiten erhält man ein zeitabhängiges Ausgangssignal mit der Einheit „sone“.

Trotz der menschnahen Lärmbeurteilung mittels Lautheitsmessung ist diese Verfahren nicht international standardisiert, da es manuell sehr aufwendig und messtechnisch hohe Anforderungen stellt, sowie teure Messtechnik erfordert. Die Pegelmessung ist dagegen ein relativ einfaches und kostengünstiges Verfahren und findet daher vorzugsweise Anwendung in der Lärmbestimmung.

Möglicherweise wird sich das Lautheitsmessverfahren in fernerer Zukunft durchsetzen, wenn die Technik leichter zu handhaben und kostengünstiger geworden ist.

Eine Reihe von Hilfsgeräten wie Kalibrierinstrumente, Messschallquellen, Speicher, Drucker etc. vervollständigen die notwendige Messapparatur und sind je nach erforderlichem Aufwand und Norm einzusetzen.

4. Normen

Eine Norm bezeichnet eine Vorschrift bzw. Regel, die u.a. die Konstruktion eines Gerätes, dessen Verwendung, eines Mediums oder das technische und funktionale Verhalten einer Schaltung oder eines Programms beschreibt bzw. festlegt.

Für die Schallmessung, Schallfeldgrößen, Messgeräte und Messverfahren, sowie bauliche und technische Maßnahmen zur Schallemissionsminderung und den Lärmschutz existieren eine Reihe von Normen nach:

- DIN (Deutsches Institut für Normung)
- IEC (International Electrotechnical Commission)
- VDI-Richtlinien (Verein Deutscher Ingenieure)
- und die sogenannten Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
(Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm).

Hier eine Auswahl von VDI-Normen, den Schall betreffend:

2058	Arbeitslärm in der Nachbarschaft
2081	Lärminderung bei Klimaanlage
2563	Kfz-Lärm
2566	Aufzüge
2567	Schalldämpfer
2570	Lärminderung in Betrieben
2714	Schallausbreitung im Freien
2718	Schallschutz im Städtebau
2719	Schalldämmung von Fenstern
2720	Schallschutz durch Abschirmung im Freien

Daten: Zollner und Zwicker, Elektroakustik, Springer-Verlag

Eine Auswahl Akustik-relevanter DIN-Normen:

18041	Hörsamkeit in kleinen und mittleren Räumen	45635	Geräuschmessung an Maschinen
40146	Dynamik, Störpegel	45636	Außengeräuschmessung an Kraftfahrzeugen
40148	Vierpole	45639	Innengeräuschmessung an Kraftfahrzeugen
45401	Normfrequenzen	45641	Mittelungspegel, Beurteilungspegel
45402	Effektivwertmessung	45642	Messung von Verkehrsgeräuschen
45403	Nichtlinearitäten, Klirrfaktor	45643	Fluglärm
45404	Messung von Unsymmetrien	45644	Schalldosimeter
45405	Geräusch- und Fremdspannungsabstand	45645	Geräuschimmission, Beurteilungspegel
45406	Aussteuerungsmesser	45651	Oktavfilter
45407	Vollaussteuerung	45652	Terzfilter
45410	Störfestigkeit von elektroakustischen Geräten	45654	Hoch- und Tiefpaßfilter
45411	Frequenzintermodulation bei Schallplatten	45655	mittelnde Schallpegelmesser
45500	Heimstudioteknik (→ DIN IEC 581)	45667	Klassierverfahren
45507	Gleichlaufschwankungen bei Schallplatten	52210	Luftschall-/Trittschalldämmung
45510	Begriffe der Magnetonentechnik	1301	Einheiten
45511–524	Magnetbandgeräte (Tonbandgeräte)	1311	Schwingungslehre
45539	Rumpel-Fremdspannung, Rumpel-Geräuschspannung	1313	Physikalische Größen und Gleichungen
45541–547	Meßschallplatten	1318	Lautstärkepegel
45565	Anforderungen an Vorverstärker	1319	Grundbegriffe der Meßtechnik
45566	Anforderungen an Leistungsverstärker	1320	Grundbegriffe der Akustik
45567	Anforderungen an Vollverstärker	1332	Formelzeichen der Akustik (incl. Fremdsprachen)
45570–575	Lautsprecher, Meßverfahren	3265	Sanitäre Anlagen
45580–582	Kopfhörer	4109	Schallschutz im Hochbau
45590–599	Mikrofone	5485	Konstante, Koeffizient, Zahl, Faktor
45611	Gehörschutz (Schalldämmung, Hörschwellenmethode)	5488	Zeitabhängige Größen
45619	Kopfhörer, Freifeldübertragungsmaß, Lautstärkevergleich	5489	Richtungssinn und Vorzeichen
45620	Audiometer	5490	Bezogene und relative Größen
45621	Wörter für Gehörprüfung mit Sprache	5493	Pegel
45630	Grundlagen der Schallmessung	13320	Spektren, Übertragungsfunktion
45631	Zwicker-Lautheit	18005	Schallschutz im Städtebau
45632	Geräuschmessung an elektrischen Maschinen	52212	Schallabsorptionsgrad, Hallraummessung
45633	(auch 45634) Schallpegelmesser →DIN IEC 651	52213–215	Bauakustische Messungen
		52216	Nachhallzeit in Zuhörerräumen
		52217–221	Bauakustische Messungen

Daten: Zollner und Zwicker, Elektroakustik, Springer-Verlag

Übersicht für Grenzwerte der A-Schalldruckpegel nach der TA Lärm, wie z.B. für Windkraftanlagen berücksichtigt werden muss:

Immissionspunkte und schallkritische Gebiete

Der Wert, der an einem Immissionspunkt, wie z.B. einem Wohnhaus gemessen, berechnet oder wahrgenommen werden kann, wird als Schall-druckpegel bezeichnet. Um Lärmbelastigungen für die Anwohner auszu-schließen, gibt es je nach Baugebiet unterschiedliche Grenzwerte des Schalldruckpegels, die am jeweiligen Immissionspunkt eingehalten werden müssen. Diese sind in der Technischen Anleitung Lärm (TA- Lärm 1998) aufgeführt.

in Kurgebieten, Krankenhäusern, Pflegeanstalten	tags	45 dB (A)
	nachts	35 dB (A)
in reinen Wohngebieten	tags	50 dB (A)
	nachts	35 dB (A)
in allg. Wohngebieten	tags	55 dB (A)
	nachts	40 dB (A)
in Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	tags	60 dB (A)
	nachts	45 dB (A)
in Gewerbegebieten	tags	65 dB (A)
	nachts	50 dB (A)
in Industriegebieten		70 dB (A)

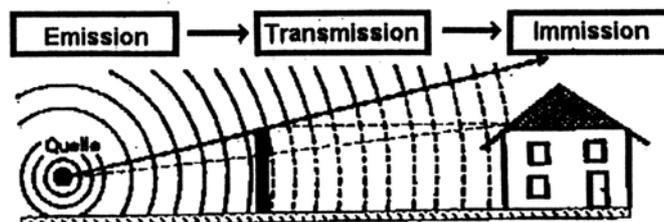


Abb.: Prof. Dr.-Ing. G.R. Stegemann, Skript zur Vorlesung Energie und Umwelt-Windkraftanlagen

5. Quellennachweis

- [1] Hrsg. Werner Schirmer: Technischer Lärmschutz, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1996
- [2] Zollner; Zwicker: Elektroakustik, 3. Aufl., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg NewYork 1993
- [3] Bernd Enders: Lexikon Musik Elektronik, VEB Deutsche Verlag für Musik, Leipzig 1988
- [4] Physiologie des menschlichen Ohres
http://www.stbg.de/sich_ges/laerm/laerm08.htm (29.03.04)
- [5] Messtechnik 1, Handschallpegelmesser
http://www.isi.ee.ethz.ch/education/lectures/ak1/ak1_link/va1-4.pdf (29.03.04)
- [6] Messverfahren
http://www.emg.ing.tu-bs.de/pdf/AMT/04_Messverfahren.pdf (29.03.04)