



## 2. Schallfeld und Schallfeldgrößen.

Der Raum, in dem sich der Schall ausbreitet, wird Schallfeld genannt. Die Schwingungen breiten sich mit der Schallgeschwindigkeit  $c$  aus; diese beträgt in m/s z. B. in Luft  $331 + 0,6 \cdot t$  ( $t =$  Temperatur in  $^{\circ}\text{C}$ ), in Wasserstoff 1300, in Wasser 1500 und in Eisen 5000.

Wie bei jedem Schwingungsvorgang ist die Wellenlänge  $\lambda$  die Strecke, nach der sich der gleiche Schwingungszustand in dem schwingenden Medium wiederholt; sie ist um so kleiner, je höher die Frequenz  $f$  in Hz (Anzahl der Schwingungen in der Sekunde) und je geringer die Schallgeschwindigkeit  $c$  ist. Es gilt also

$$(1) \quad \lambda = \frac{c}{f}.$$

Die Schallschwingungen bestehen in einem Wechselspiel sich gegenseitig ablösender Druck- und Bewegungszustände des elastischen Mediums. Der dabei hervorgerufene Wechseldruck heißt Schalldruck  $p$  und wird in  $\mu\text{b}$  gemessen. Die Wechselgeschwindigkeit eines schwingenden Teilchens hat (zum Unterschied von der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit  $c$ ) die Benennung Schallschnelle  $v$  erhalten. Die Auslenkung eines schwingenden Teilchens aus der Ruhelage wird mit Schallausschlag  $a$  bezeichnet. Dabei ist

$$(2) \quad a = \frac{v}{2\pi f}.$$

Ähnlich, wie nach dem Ohmschen Gesetz der Strom von der Spannung und dem elektrischen Widerstand abhängt, so wächst die Schallschnelle  $v$  mit dem Schalldruck  $p$  und ist umgekehrt proportional dem Schallwellenwiderstand  $z$  des betreffenden elastischen Mediums. Es ist für ebene Wellen

$$(3) \quad v = \frac{p}{z}.$$

Der Schallwellenwiderstand  $z$  eines Mediums ist gleich dem Produkt aus seiner Dichte  $\rho$  und seiner Schallgeschwindigkeit  $c$ :

$$(4) \quad z = \rho \cdot c \text{ in } \frac{\mu\text{b} \cdot \text{s}}{\text{cm}} \text{ oder akustischen Ohm.}$$

Er ist z. B. für Luft gleich 42, für Wasser 150000 für Eisen 4000000 akust. Ohm. Das Produkt von Schalldruck und Schallschnelle gibt die Schallstärke  $I$

$$(5) \quad I = p \cdot v.$$

Diese kann auf Grund der vorherigen Beziehungen auch als

$$(6) \quad I = \frac{p^2}{z} = v^2 \cdot z$$

ausgedrückt werden. Setzt man  $p$  in  $\mu\text{b}$ ,  $z$  in akust. Ohm,  $v$  in  $\text{cm/s}$  ein und multipliziert mit  $10^{-7}$ , so ergibt sich  $I$  in  $\text{Watt/cm}^2$ . Die Schallstärke ist die Schalleistung  $N_A$ , die in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit strömt. Ist  $F$  eine die Schallquelle ganz einhüllende Fläche, durch die die gesamte von der Schallquelle abgegebene Schallstärke durchströmen muß, so ist die Schalleistung

$$(7) \quad N_A = \oint I \cdot dF.$$

Z. B. hat Unterhaltungssprache eine Schalleistung von etwa  $60 \mu\text{W}$ , ein Klavier etwa  $60 \text{ mW}$ , eine große Sirene etwa  $60 \text{ W}$ . Im Abstand  $r$  von einem völlig ungerichteten Strahler ist auf einer Kugelfläche  $F = 4\pi r^2$  die Schallstärke  $I$  konstant und die Leistung berechnet sich zu

$$(8) \quad N_A = I \cdot F = \frac{p^2}{z} \cdot 4\pi \cdot r^2.$$

Setzt man  $p$  in  $\mu\text{b}$  und  $r$  in  $\text{cm}$  ein, so ergibt sich  $N_A$  in Watt zu

$$N_A = 3 \cdot 10^{-8} \cdot p^2 \cdot r^2.$$

Die bisher angegebenen Formeln zeigen, daß man aus dem Schalldruck die anderen Schallfeldgrößen bestimmen kann. Sie gelten nur, wenn zwischen Druck und Schnelle keine Phasenverschiebung auftritt (ähnlich dem Spannungsabfall an einem ohmschen Widerstand in der Wechselstromtechnik). Dies ist bei ebenen Wellen der Fall. Unter einer ebenen Welle versteht man eine Schallausbreitung, bei der die Wellenfront eine Ebene ist; dabei haben alle schwingenden Mediumteilchen in einer Ebene senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung den gleichen Schwingungszustand. In ebenen Wellen ist die Schallstärke unabhängig von der Entfernung.

Befindet sich eine punktförmige Schallquelle in einem homogenen Medium, so gehen von ihr Wellen aus, deren Front eine Kugel ist (Kugelwellen). Hierbei nimmt der Schalldruck umgekehrt proportional der Entfernung ab

$$(9) \quad p = \frac{p_0}{r},$$

während die Schallstärke umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung abnimmt

$$(10) \quad I = \frac{I_0}{r^2}.$$

In größerer Entfernung von der Schallquelle kann man stets mit ebenen Wellen rechnen, weil die Phase zwischen Druck und Schnelle klein ist und der Schalldruck innerhalb eines kleinen Raumabschnitts nicht wesentlich abnimmt. Man kann dann, wie bei den ebenen Wellen, alle anderen Schallfeldgrößen aus dem Schalldruck berechnen; daher beschränkt man sich bei Schallfeldmessungen im allgemeinen auf die Ermittlung des Schalldrucks.

In Schallfeldern mit Rückwurferscheinungen oder mit mehreren Schallquellen gleicher Frequenz treten stehende Wellen auf. Der räumliche Schalldruckverlauf ist dann schwankend, weil durch die Überlagerung Schwingungsbäuche und Schwingungsknoten entstehen.

### 3. Lautstärke

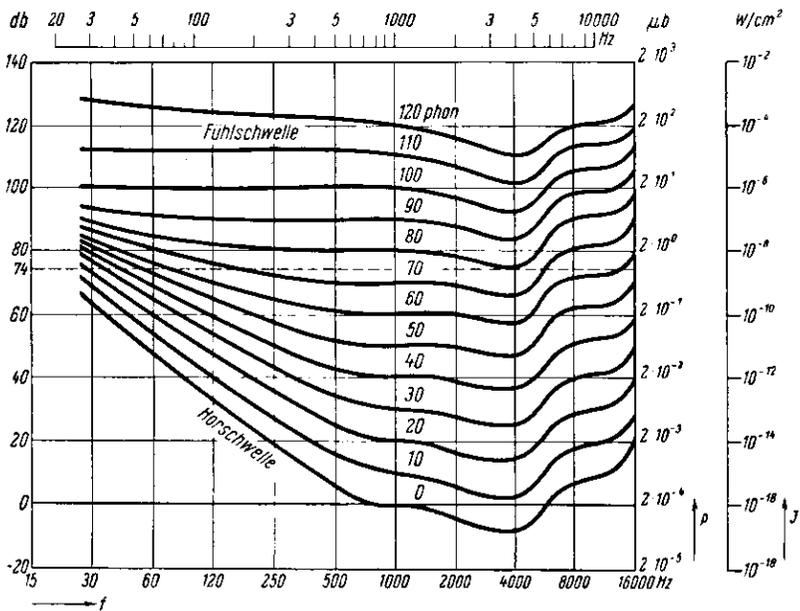
Das menschliche Ohr unterscheidet bei einem Schall neben anderen Merkmalen, wie Tonhöhe, Klangfarbe, Lästigkeit usw. auch, ob er leise oder laut ist. Als Maß für diese Empfindung kann nicht allgemein der Schalldruck oder die Schallstärke dienen, weil durch die Ohreigenschaften z. B. der gleiche Schalldruck bei einer mittleren Frequenz viel lauter gehört wird als bei einer tiefen Frequenz. Wie die Helligkeit einer Lampe von beliebig gefärbtem Licht durch Vergleich mit einer Normallichtquelle bestimmt wird, so wird auch die Lautstärke durch Vergleich mit einem Normalschall gemessen. Als Normalschall dient ein 1000-Hz-Ton. Weil nun die Ohrempfindung annähernd logarithmisch erfolgt — gleiche Schalldruckverhältnisse werden ungefähr als gleiche Lautstärkenunterschiede empfunden — so wurde für den Normalton eine logarithmische Stufung vorgenommen. Es ist die gleiche Stufung wie beim Dezibel (s. „Einheiten“). Die Lautstärke des 1000-Hz-Tones ist in Phon

$$(11) \quad L = 20 \log \frac{p}{p_0}.$$

Der Wert  $p_0$  wurde dabei so festgelegt, daß er der Reizschwelle des Ohres bei 1000 Hz entspricht, d. h. der Ton ist gerade nicht mehr hörbar, wenn die Lautstärke 0 phon beträgt ( $p = p_0$ ). Es ist  $p_0 = 2 \cdot 10^{-4} \mu\text{b}$  entsprechend einer Schallstärke von  $10^{-16} \text{ W/cm}^2$ .

Die Lautstärke eines beliebigen Schalles ist gleich der des als gleich laut empfundenen 1000-Hz-Tones. Wie der Zusammenhang zwischen der Lautstärke und dem Schalldruck bei reinen Tönen ist, zeigen die sogenannten Ohrkurven (s. S. 249). Sie wurden durch Messungen an vielen normal hörenden Personen gewonnen und stellen Mittelwerte dar, während die Werte selbst von Mensch zu Mensch verschieden sein können. Dies gilt ebenso für die Reizschwelle bei 1000 Hz. Die Festlegung auf einen mittleren Wert von  $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{b}$  statt der Benutzung individueller Werte war notwendig, damit von verschiedenen Personen und zu verschiedenen Zeiten der gleiche Schall auch mit der gleichen Lautstärke gemessen wird. Ebenso wurden für die „objektiven“ Lautstärkemesser, bei denen die Lautstärke nicht durch einen Hörvergleich ermittelt, sondern unmittelbar in Phon abgelesen werden kann, Bedingungen festgelegt, die den mittleren Ohreigenschaften zahlreicher Personen entsprechen. Diese Bedingungen müssen, weil das Ohr hier bei der Messung gar nicht mehr mitwirkt, außer den Ohrkurven noch Festlegungen umfassen über die Art, wie sonstige Ohreigenschaften nachzubilden sind, z. B. die Bewertung kurzer Schallimpulse und dgl. Objektive Lautstärkemesser ergeben somit Meßwerte, die nicht immer mit der subjektiven Beurteilung durch einzelne Personen übereinstimmen, die aber für alle Geräte gleich sind, soweit diese den zwischenstaatlich anerkannten Bedingungen entsprechen.

Die Stufe von 1 phon (das ist bei 1000 Hz ein Unterschied im Schalldruck von 26%, in der Schallstärke von 13%) ist der Lautstärkenunterschied, der unter günstigen Bedingungen gerade merkbar ist. Bruchteile von Phonwerten anzugeben hat also meist keinen Sinn. Oberhalb etwa 120 phon tritt im Ohr neben der Lautstärkenwahrnehmung noch eine Schmerzempfindung auf.



Kurven gleicher Lautstärke.

Von der Lautstärke zu unterscheiden ist die Lautheit, die auf einer anderen Basis aufgebaut ist, nämlich der Beurteilung, ob ein Schall „doppelt so laut“ bzw. „halb so laut“ empfunden wird, wie ein anderer. Die Beziehung zwischen Lautstärke und Lautheit ist von dem Wert der Lautstärke selbst abhängig. Im mittleren Hörbereich entspricht einer Verdoppelung der Lautheit eine Lautstärkezunahme um 10 phon.

Ein Schall, insbesondere ein Geräusch, wird auch als mehr oder weniger lästig bzw. angenehm empfunden. Der Grad der Lästigkeit hängt von den verschiedensten Faktoren ab, u. a. auch von der nervösen Verfassung des Beobachters. Die Lautstärke und auch die Lautheit können nicht als Maß für die Lästigkeit herangezogen werden. Es ist vielmehr durchaus möglich, daß von 2 Geräuschen gleicher Lautstärke das eine als sehr lästig, das andere als nicht störend empfunden wird.

#### 4. Töne, Klänge, Geräusche

Je nach Frequenzzusammensetzung oder anderen Merkmalen eines Schalles lassen sich noch folgende Unterscheidungen treffen: Hat der Schall sinusförmigen Verlauf, so bezeichnet man ihn als Ton. Ein Tongemisch ist ein aus Tönen beliebiger Frequenz zusammengesetzter Schall. Ein Klang ist ein aus harmonischen Teiltönen zusammengesetzter Schall, ein Klanggemisch ein aus Klängen mit Grundtönen beliebiger Frequenz zusammengesetzter Schall. Ein Geräusch ist ein Tongemisch, dem ein kontinuierliches Spektrum entspricht, oder das sich aus sehr vielen Einzeltönen zusammensetzt, deren Frequenzen nicht im Verhältnis ganzer Zahlen zueinander stehen. Als Knall bezeichnet man einen Schallstoß vornehmlich von großer Lautstärke und als Lärm jeden störenden Schall.

#### 5. Nachhall

Für die akustischen Eigenschaften eines Raumes ist der Nachhall ein charakteristisches Maß. Man bezeichnet mit Nachhall das mehr oder weniger langsame Abklingen der Schalleistung in einem Raum, hervorgerufen durch die Schallreflexionen an den Begrenzungsflächen des Raumes. Die Zeit, innerhalb der die Schallstärke nach Abschalten der Schallquelle auf den 10<sup>ten</sup> Teil ihres Anfangswertes absinkt, ist die Nachhallzeit. Sie wird durch Messung des Schalldrucks ermittelt, der in der gleichen Zeit auf den 10<sup>ten</sup> Teil absinkt (s. Meßplatz für raumakustische Untersuchungen S. 196).

# Meßverfahren

## 1. Schalldruckmessungen

Bei Schalluntersuchungen wird meist nur der Schalldruck gemessen. Aus ihm kann man auch — wie unter dem Abschnitt „Grundbegriffe“ dargelegt — die anderen Bestimmungsgrößen des Schallfeldes: Ausschlag, Schnelle, Schalleistung und Schalldichte berechnen, jedoch muß man dann noch die Art der Schallausbreitung (z. B. ebene Welle, Kugelwelle, stehende Welle usw.) kennen. Die unmittelbare Wahrnehmung des Schalls durch das Ohr und auch die mit einem Geräuschemesser gemessene Lautstärke ist abhängig von der Frequenzlage des Geräusches und steigt nicht entsprechend dem Schalldruck an. Im Gegensatz hierzu ist die Anzeige eines Schalldruckmessers frei von diesen physiologischen Eigenschaften des Ohres. Da der Schalldruck eine rein physikalische Größe ist, bietet seine Messung für viele technische und wissenschaftliche Untersuchungen Vorteile. Mit dem Schalldruckmesser (s. S. 190) kann im Bereich von 0,03 bis 1000  $\mu\text{b}$  gemessen werden. Als Schallempfänger dient ein möglichst hochwertiges Mikrofon, das insbesondere frequenzunabhängig und eichbar ist. Diesen Anforderungen entspricht am besten das Kondensator-Mikrofon. Seine Ausgangsspannung wird verstärkt — bei Lautstärkemessungen außerdem frequenzbewertet — einem Meßgerät ( $\mu\text{b}$ , phon) bzw. einem Schreiber oder einer Analysiervorrichtung zugeführt.

Bei der Messung selbst ist eine Reihe von Meßfehlern durch richtige Meßbedingungen auszuschließen. Zunächst ist darauf zu achten, daß Nebengeräusche und Wind die Messung nicht stören. Man kann die Störfreiheit nicht immer mit dem Ohr allein prüfen, da oft tiefe Störfrequenzen vorhanden sind, die man nicht hört, weil sie unterhalb der Reizschwelle des Ohres liegen, während sie der Schalldruckmesser noch aufnimmt. Ebenso können Erschütterungen als Körperschall und Röhrenklingen sowie elektrische und magnetische Beeinflussungen das Ergebnis fälschen. Bei spitzenhaltigen Geräuschen ist auch darauf zu achten, daß die Meßgeräte nicht übersteuert werden. Den häufigsten Grund für eine Fehlmessung bildet jedoch erfahrungsgemäß die Umgebung der Meßstelle: durch Schallrückwurf kann der zu messende Schall vergrößert oder auch verkleinert werden, je nachdem, ob er sich mit dem zurückgeworfenen gerade in Phase oder Gegenphase befindet. Wenn sich dieser Einfluß auch nicht immer völlig vermeiden läßt, so muß man doch zur Erzielung einer hohen Meßgenauigkeit — z. B.  $\pm 2\text{ db}$  =  $\pm 26\%$  des Schalldrucks — die Schalldruckmessungen unter möglichst genau festgelegten Verhältnissen vornehmen.

### a) Messungen in Meßräumen

Messungen in der Druckkammer. Für Messungen an kleinen Objekten, wie Telefonen und Mikrofonen, kann eine sogenannte Druckkammer benutzt werden. Dies ist ein allseitig abgeschlossener Raum mit glatten, reflektierenden Wänden, dessen Abmessungen im Vergleich zur Wellenlänge klein sein müssen, damit in ihm ein Wecheldruck in quasistationärem Zustand entstehen kann. In ihm sind die zu messenden Geräte eingesetzt. Hierbei ist die „Druckkammereichkurve“ des Meßmikrofons zu verwenden. Für die höheren Frequenzen ist es meist notwendig, die Druckkammer mit Wasserstoff ( $c = 1300\text{ m/s}$ ) zu füllen, damit die Wellenlänge  $\lambda$  noch groß gegenüber den Kammerabmessungen bleibt. In der folgenden Tafel sind für einige Frequenzen die Wellenlängen in Luft und in Wasserstoff angegeben:

f in Hz. . . . .	33	330	3300	33000
$\lambda$ in cm für Luft . . .	1000	100	10	1
$\lambda$ in cm für Wasserstoff	3940	394	39,4	3,94

Messungen im Hallraum. Der Hallraum dient z. B. zur Messung des Wirkungsgrads von Lautsprechern, zur Messung der Schalldämmung (Schallisolation) und des Schluckgrads von schalldämpfenden Stoffen. Ein Hallraum soll möglichst viel Schalleistung an seinen Wänden reflektieren, so daß ein starker Nachhall entsteht. Er hat daher kahle, harte und glatte Wände. Der Schluckgrad von schalldämpfenden Stoffen wird mit dem „Meßplatz für raumakustische Untersuchungen“ (s. S. 196) bestimmt, und zwar

ergibt sich der Schluckgrad aus der Verminderung des Nachhalls, den die in den Hallraum eingebrachten Stoffe hervorrufen. Auch zur Messung der Schalldämmung von Wänden kann der Hallraum in Verbindung mit dem Meßplatz benutzt werden, wenn man ein Probestück in die Trennwand zwischen dem Hallraum und einem zweiten Raum einbauen kann. Die Schalldämmung ergibt sich aus dem Verhältnis der Meßwerte in den Räumen vor und hinter der Trennwand.

**Messungen in schalldämpften Räumen.** Für die genaue Messung von Schallsendern, Schallempfängern, Schallführungen usw. werden am besten Räume benutzt, die dick mit schalldämpfenden Stoffen, z. B. Watte, ausgepolstert sind und keinen Schall mehr reflektieren. Für derartige Messungen ist der „Meßplatz für elektroakustische Geräte“ (s. S. 194) vorgesehen. Bei diesem Meßplatz regelt ein Dämpfungsschreiber mit Hilfe seines gesteuerten Spannungsteilers jeweils eine Größe, z. B. bei Mikrofommessungen den Schalldruck, bei Lautsprechermessungen die Spannung über das ganze Frequenzband auf einen festen Wert ein. Mit einem zweiten Schreiber läßt sich dann unmittelbar der Frequenzverlauf der abhängigen Größe laufend aufschreiben. Größere Aufbauten im schalldämpften Raum stören das Schallfeld und sind zu vermeiden. Die Messungen sind auch in nicht zu geringer Entfernung von den Wänden vorzunehmen, da dort ebenfalls Unregelmäßigkeiten des Schallfeldes auftreten. Um zu überschauen, wie weit ein Meßraum geeignet ist, prüft man zweckmäßigerweise zunächst den Schalldruck  $p$  in verschiedenen Abständen  $r$  von der Schallquelle. Am einwandfreiesten wird man in dem Teil des Raumes Schalldruckmessungen ausführen können, in dem der Druck am genauesten mit dem Wert  $1/r$  abnimmt.

Am Mikrofon selbst tritt je nach seinen Abmessungen bei höheren Frequenzen eine Schallstauung und damit eine Druckerhöhung („Drucktransformation“) ein. Diese Druckerhöhung wird durch die „Feldstärkekurve“ berücksichtigt, die bei Messungen im freien Schallfeld anzuwenden ist. Die Druckerhöhung kann auch durch eine zuschaltbare Entzerrung elektrisch wieder aufgehoben werden.

Zur Messung des Schalldrucks an Trichtern, Röhren, Parabolspiegeln und dgl. ist häufig das Mikrofon in die Gebilde einzuführen. Auch hierbei kann das Schallfeld gestört werden. Die Störung wird nahezu vermieden, wenn das Mikrofon in die starre Wand der Schallführung eingebaut werden kann. In diesem Fall ist die dem Schalldruckmesser ebenfalls beigegebene „Druckkammereichkurve“ anzuwenden.

### **b) Messungen im Freien**

Bei Messungen im Freien ist außer der Schallfeldstörung durch andere Gegenstände der Schallrückwurf am Erdboden zu beachten. Man kann die Messungen hoch über dem Erdboden vornehmen, d. h. mindestens im fünffachen Abstand der Strecke zwischen Sender und Empfänger. Man kann aber auch unter Ausnutzung des Rückwurfs möglichst dicht am Erdboden selbst bleiben (Abstand klein gegen Wellenlänge). Ist der Boden glatt und eben und wirft er den Schall vollständig zurück, so verdoppelt sich dort der Schalldruck. Schwierig ist dabei meistens die Messung mit hohen Frequenzen, da man die Abstände zwischen Boden und Sender bzw. Empfänger oft nicht ohne besondere Einbauten in den Boden klein gegenüber der Wellenlänge machen kann. Daneben können Wind und atmosphärische Einflüsse die Messungen leicht stören.

### **c) Untersuchung von normalen Räumen**

Um zu prüfen, ob ein Raum akustisch günstig ist, kann man seinen Nachhall mit dem „Meßplatz für raumakustische Untersuchungen“ bestimmen. Der Nachhall hängt vom Volumen des Raumes, vom Schallschluck- bzw. reflexionsgrad der Wände und von der Gestaltung des Raumes ab. Für Vortragsäle ist ein kleinerer, für Konzertsäle ein größerer Nachhall günstig. Für Sprache beträgt z. B. die günstigste Nachhallzeit 0,8 s bei Räumen von 1000 m<sup>3</sup> und 1,3 s bei 50000 m<sup>3</sup>. In großen Musikhallen sind noch Nachhallzeiten von 2,5 s durchaus zulässig. Mit dem Meßplatz läßt sich auch die Frequenzabhängigkeit des Nachhalls feststellen. Ein unregelmäßiger Verlauf kann auf Echos oder auf den Einfluß angekoppelter Räume deuten. Nach entsprechendem Umbau (Auskleidung mit dämpfenden Stoffen) läßt sich der Erfolg der Maßnahmen durch eine weitere Messung nachprüfen.

Es ist zu vermeiden, in solchen Räumen anstatt in Meßräumen Schallquellen, Schallempfänger usw. zu untersuchen. Im Notfall kann eine Messung in näherer Umgebung der Schallquelle, wo der unmittelbare Schall den Rückwurf noch stark überwiegt, ungefähre Werte ergeben.

## 2. Lautstärkemessungen

### a) Subjektive Messung

Sie beruht auf dem Hörvergleich des zu untersuchenden Schalles mit einem Normschall. Mit der Lautstärke-Meßeinrichtung nach Barkhausen (s. S. 186) lassen sich Lautstärken bis 100 phon messen. Der Messende stellt den Normalton im Telefon möglichst gleich laut dem zu messenden Schall ein. Zweckmäßigerweise wird abwechselnd zwischen lauterem und leiserem Werten allmählich eingegrenzt. Die Messung erfordert Übung, Aufmerksamkeit und ein normalhörendes Ohr (s. Ohrkurven). Auch muß der Schall für die Messung genügend lange konstant bleiben. Das Regelglied, mit dem der Vergleich eingegrenzt wird, ist bei diesem Gerät von 5 zu 5 phon gestuft. Dazwischen läßt sich durch Schätzung bis zum gewissen Grade noch mitteln. Je nach der frequenzmäßigen Zusammensetzung des Geräusches und den Ohrkurven der einzelnen Beobachter werden ihre Angaben mehr oder weniger voneinander abweichen.

### b) Objektive Messung

Sie schaltet Fehlerquellen der subjektiven Lautstärkemessung aus. Ihr Hauptvorteil liegt in der Reproduzierbarkeit und Einheitlichkeit. Objektive Messungen geben die Gewähr, daß nun auch tatsächlich von verschiedenen Personen das gleiche Meßergebnis erzielt wird. Ferner ermöglichen sie, die Vorgänge aufzuschreiben und die Meßwerte zu übertragen (Fernablesung). Da die objektiven elektroakustischen Lautstärkemessungen ebenfalls auf einer Schalldruckmessung beruhen, sind auch für sie die bei der Messung des Schalldrucks bereits angeführten Regeln zu beachten. Insbesondere sind geeignete Meßräume zu verwenden oder die Messungen unter Betriebsbedingungen auszuführen. In einem objektiven Lautstärkemesser wird durch Filter, die die Ohrkurven (s. S. 249) nachbilden, der Schalldruck frequenzmäßig so bewertet, daß man unmittelbar die Lautstärke in phon ablesen kann (z. B. Lautstärkemesser 60/130 phon, s. S. 188). Bei Lautstärkemessungen ist ferner die Eigentümlichkeit der logarithmischen Skala zu beachten, d. h. wenn z. B. zwei Geräuschquellen von je 80 phon zugleich ertönen, ist ihre Gesamtlautstärke nur 83 phon. Das Geräusch mehrerer Schallquellen läßt sich nur dadurch wirksam verringern, daß die lauteste von ihnen abgedämpft wird.

## 3. Körperschallmessungen

Neben dem Luftschall, d. h. dem eigentlichen Schall, wie er vom Ohr allein wahrgenommen werden kann, muß auch der Körperschall in Betracht gezogen werden. Er besteht in Schwingungen, die sich in festen Körpern, Maschinenteilen, Fundamenten, Gebäudeteilen usw. fortpflanzen und von einer dafür geeigneten Fläche als Luftschall abgestrahlt werden können. Da der Körperschall vom Ohr nicht unmittelbar wahrgenommen wird sondern erst nach Umwandlung in Luftschall, und da ferner diese Umwandlung in der verschiedensten Weise insbesondere mit ganz verschiedenem Wirkungsgrad erfolgt, so kann der Körperschall weder als Schalldruck noch als Lautstärke gemessen werden. Man mißt vielmehr beim Körperschall die Schnelle eines schwingenden Teilchens. Dazu wird an den Schalldruckmesser an Stelle des Kondensator-Mikrofons ein Körperschall-Abtaster angeschlossen und der am Schalldruckmesser abgelesene Wert mit Hilfe eines konstanten Umrechnungsfaktors in den Effektivwert der Schnelle (in cm/s) umgerechnet. So kann z. B. die Wirkung schalldämmender Zwischenlagen auf die Erschütterungsminderung festgestellt werden.

## 4. Verfahren zur Frequenzanalyse

Die Analysierverfahren sind dieselben, wie sie in der Fernmeldetechnik gebraucht werden. Ein aufgenommenes Oszillogramm kann mit Hilfe der harmonischen Analyse rechnerisch oder graphisch analysiert werden. Das Suchtonverfahren arbeitet mit hohem Auflösungsvermögen, erfordert aber längere Zeit. Mit dem Oktav-Bandpaß (s. S. 164) läßt sich eine Grobanalyse vornehmen, mit dem Tonfrequenz-Spektrometer (s. S. 154) eine Schnellanalyse. Schnell und zugleich genau ist ein kombiniertes Verfahren mit Oktav-Bandpaß und oszillographischer Analyse. Die Frequenzanalyse dient z. B. bei Lärmentstörungen von Maschinen zum Auffinden der Hauptstörfrequenzen. Die Spektrogramme unterscheiden sich je nach der Bandbreite der einzelnen Durchlaßbereiche. Man kann sie aufeinander

umrechnen. Hat man den Effektivwert über eine bestimmte Teilbandbreite, z. B. im Bereich  $f_2 - f_1$  gemessen, so errechnet sich bei Annahme gleichmäßiger Schallverteilung der Schalldruck für die Band-

breite  $f_4 - f_3$  durch Multiplikation des ersten Wertes mit  $\sqrt{\frac{f_4 - f_3}{f_2 - f_1}}$ .

Bei der Suchtonanalyse ist die Bandbreite  $f_2 - f_1$  konstant, z. B. 20 Hz, während bei der Oktav-Bandpaßanalyse das Verhältnis  $f_4/f_3$  konstant ist, d. h. die Bandbreite  $f_4 - f_3$  sich mit jeder folgenden Oktave verdoppelt.

### 5. Verfahren zum Aufschreiben der Meßwerte

Zum Aufschreiben veränderlicher Meßwerte (Schalldruck, Lautstärke, Nachhallkurven usw.) eignet sich neben dem die Augenblickswerte aufschreibenden Oszillographen vor allem der Dämpfungsschreiber nach Neumann, der Effektivwerte aufzeichnet und der sich an den Schalldruckmesser, Lautstärkemesser und das Netzanschluß-Kondensator-Mikrofon anschließen läßt. Seine verschiedenen Papiergeschwindigkeiten erlauben auch lang andauernde Schallvorgänge ohne großen Papierverbrauch laufend aufzuzeichnen. Die logarithmische Teilung ermöglicht die Aufzeichnung der Schalldrücke in einem großen Bereich (25 db, 50 db, 75 db).