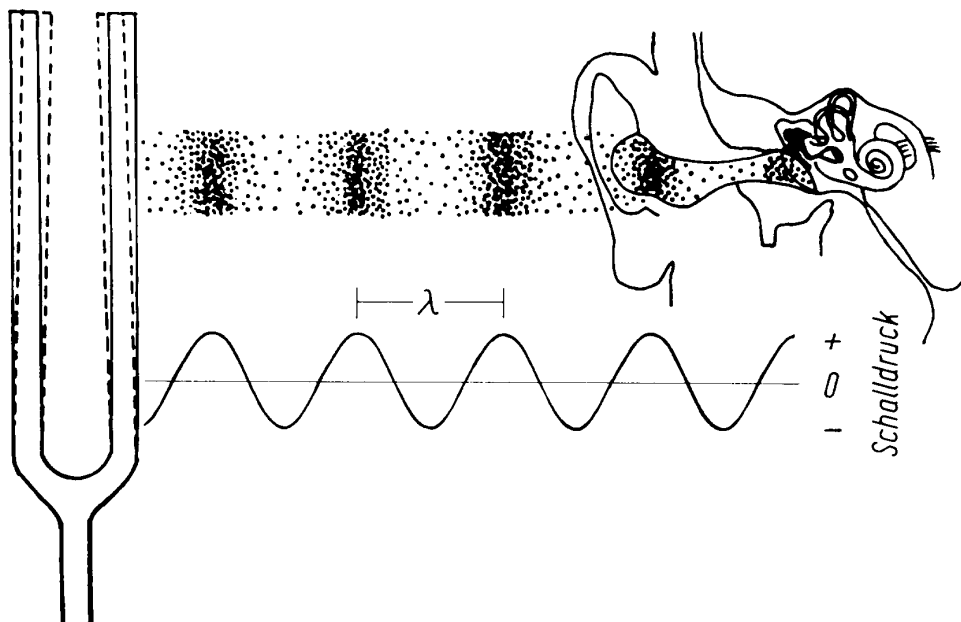


# SCHALLANALYSE

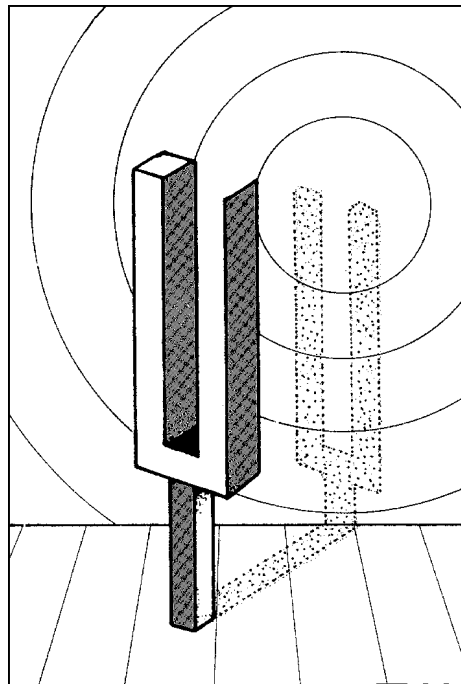


## SCHALLANALYSE

Der Versuch Schallanalyse verfolgt das Ziel, Ihnen einige für die Medizin besonders wichtige Grundbegriffe der physikalischen und technischen Akustik theoretisch zu erläutern. Im Anschluß daran haben Sie die Möglichkeit, die definierten Begriffe anzuwenden bzw. Schallgrößen zu messen.

Lärm als eine Form von Schall wird in zunehmendem Ausmaß als Ursache von Krankheiten in Betracht gezogen. Lärmschwerhörigkeit ist mittlerweile die häufigste Berufskrankheit. Eine erste Einschätzung einiger Einflußfaktoren bei Entstehung, Übertragung, Messung und Schutz vor Lärm lernen Sie hier kennen.

Am Ende des Versuchs können Sie Ihr eigenes Audiogramm (Hörverlustkurve) mit einem einfachen Gerät aufnehmen und feststellen, ob Ihr Gehör beim Versuch (oder vielleicht schon vorher) gelitten hat. Derartige tragbare Geräte sind im Einsatz bei Messungen in Betrieben, Schulen usw.



This impossible tuning fork seems to cast a real shadow on the back wall. And of course it is the shadow, not the fork, which emits the soundless sound waves!

*(aus: Bruno Ernst: Adventures with impossibles figures, Norfolk, England, 1986)*

# 1 Grundlagen

## 1.1 Wellen in einem elastischen Medium

Mechanische Störungen (Deformation, z.B. Komprimierung von Luft durch die Bewegung einer Lautsprechermembran oder die Enden einer Stimmgabel), die sich in einem elastischen Medium (Gas, Flüssigkeit, Festkörper) fortpflanzen, heißen elastische Wellen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit  $c$  ist um so größer je "steifer" das Medium ist; sie hängt im wesentlichen von Materialkonstanten (Dichte, Elastizitätsmodul) ab.

Die Ausbreitung schwacher Störungen - mechanische Wellen mit kleinen Amplituden - in einem elastischen Medium nennt man Schallwellen oder akustische Wellen.

Für die Geschwindigkeit  $c$  von Schallwellen (und auch von elektromagnetischen Wellen) gilt:

$$c = \lambda \cdot f$$

wobei  $f$  die Frequenz der Schwingungen der Teilchen bedeutet (angegeben in Hertz; Zeichen Hz) und  $\lambda$  die Wellenlänge der sich fortpflanzenden Welle ist (angegeben in mm, m, km usw., je nach Bedarf).

Eine elastische Welle heißt longitudinal, wenn die Teilchen des Mediums in der Fortpflanzungsrichtung der Welle schwingen. Longitudinale Wellen sind mit Volumenänderungen des Mediums (Verdichtung oder Verdünnung z.B. von Luft; vgl. Umschlagbild dieser Versuchsanleitung) verknüpft. Sie können in Gasen, Flüssigkeiten und Festkörpern auftreten.

Eine elastische Welle heißt transversal, wenn die Schwingungen der Teilchen des Mediums in einer Ebene senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung erfolgen. Sie können nur in Medien auftreten, die einer Deformation durch Scherung einen Widerstand entgegensetzen, d.h. nur in Festkörpern (z.B., auch in Knochen).

## 1.2 Schall

Die folgenden Definitionen lehnen sich an DIN 1320 an (DIN = Deutsche Industrienorm; DIN 1320 Grundbegriffe der Akustik; liegt beim Versuch aus).

Als Schall bezeichnet man mechanische Schwingungen eines elastischen Mediums. Luftschall ist Schall im Medium Luft, Wasserschall im Medium Wasser und Körperschall in festen Körpern.

Hörschall (Schall im engeren Sinne) ist Schall im Frequenzbereich des menschlichen Hörens. Die DIN-Norm setzt diesen Bereich von 16Hz bis 16kHz fest; in medizinischen

Fachbüchern findet man häufig die Festlegung 20Hz bis 20kHz. Die Grenzen des hörbaren Frequenzbereichs lassen sich nicht exakt angeben.

Infraschall ist Schall mit einer Frequenz unter ca. 16 bis 20Hz. Seine Auswirkungen sind zur Zeit Gegenstand einer Reihe von Untersuchungen. Es gibt auch "Anwendungen":

(Aus der Süddeutschen Zeitung 11.09.72)

## ***Der Lärmtod kommt lautlos***

### **Frankreich entwickelt Massenvernichtungswaffe in Form einer Infraschall-Pfeife**

**Leicester (AP)** Eine unheimliche Todeswaffe, die Menschen noch auf acht Kilometer Entfernung töten kann, ist nach einem Bericht vor einer wissenschaftlichen Konferenz in Leicester in England entwickelt worden. Wie der Leiter der britischen Gesellschaft zur Lärmbekämpfung, John Connell, auf der Jahrestagung der britischen Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften mitteilte, handelt es sich bei der Waffe um eine „riesige Pfeife, die mit Preßluft betrieben wird“ und Infraschallwellen aussendet: unhörbar für das menschliche Ohr, aber um so verheerender für den menschlichen Organismus.

Der erste Versuch mit der Todespfeife, so Connell, sei „fast katastrophal“ verlaufen. Nach dem Test sei es in einem weiten Umkreis jedermann

stundenlang übel gewesen. „Alles in diesen Menschen, Magen, Herz und Lunge, vibrierten.“ Laut Connell ist die schreckliche Waffe in einem staatlichen Zentrum für wissenschaftliche Forschung in Marseille (Südfrankreich) entwickelt worden.

Der erste Infraschallgenerator, der jemals erbaut worden ist, erzeugt dem Bericht zufolge Schallwellen mit nur sieben Schwingungen pro Sekunde, der „lautlose“ Lärm ruft zunächst Schwindelgefühl, nervöse Erschöpfung und Seekrankheit, später dann „schnellen und schmerzvollen Tod“ hervor, sagte Connell. Nach seinen Worten leiden Menschen ohnehin oft unter den Auswirkungen von Infraschall, der unter anderem beim Schallmauerdurchbruch von Flugzeugen und von schweren Lastkraftwagen erzeugt werde.

Ultraschall hat Frequenzen von mehr als 20kHz. Ultraschall hat bereits eine große diagnostische Bedeutung in der Gynäkologie, Ophthalmologie und weiteren Fächern. Auch therapeutische Anwendungen sind vorhanden.

### **1.3 Harmonische Schwingungen bzw. Wellen**

Harmonisch heißen Wellen bzw. Schwingungen, wenn sie einen sinusförmigen Verlauf haben. Obschon die meisten Vorgänge in der Akustik nicht harmonisch verlaufen, haben harmonische Schwingungen eine besondere Bedeutung, weil sie mathematisch gut zu handhaben sind und man aus harmonischen Schwingungen durch Überlagerung jede beliebige Schwingungsform zusammensetzen vermag (sog. Fouriersynthese).

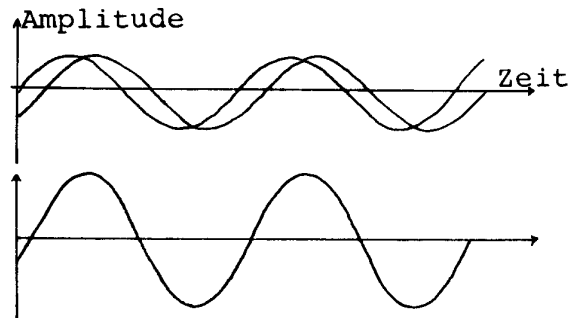
Ein reiner Ton ist, z.B. definiert als eine sinusförmige Schwingung im Hörbereich. Mit Stimmgabeln lassen sich bei geeigneter Anregung sehr gut reine Töne erzeugen.

Die Tonhöhe wird in der physikalischen Akustik durch die Frequenz gekennzeichnet, während man in der Musik damit allerdings eher ein psychologisches Merkmal eines Hörereignisses meint. Aus der Physiologie ist bekannt, daß die Tonhöhe z.B. von der Lautstärke abhängig ist.

### 1.3.1 Überlagerung von harmonischen Schwingungen

Überlagert man harmonische Schwingungen gleicher Frequenz, so erhält man wieder eine harmonische Schwingung mit der gleichen Frequenz, aber einer anderen Amplitude (Abb.1).

Abb.1: Überlagerung harmonischer Schwingungen gleicher Frequenz und gleicher Amplitude



Überlagert man harmonische Schwingungen etwas verschiedener Frequenz ( $f_1$ ,  $f_2$ ), entsteht eine nichtharmonische Schwingung.

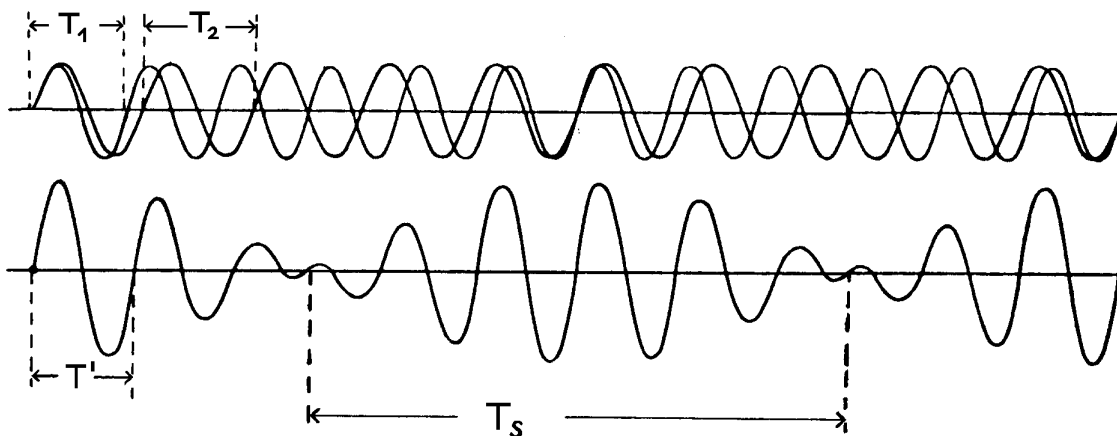


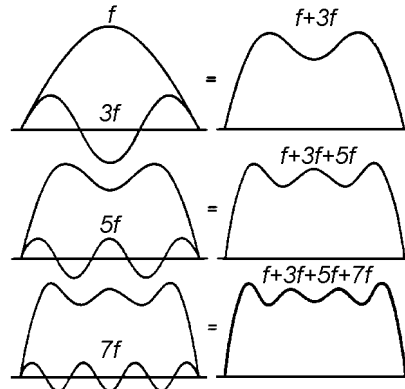
Abb.2: Zustandekommen von Schwebungen. Im oberen Teilbild sind zwei harmonische Schwingungen etwas verschiedener Frequenz aufgetragen. Addiert man zu jedem Zeitpunkt die Amplituden beider Schwingungen, ergibt sich das untere Bild, bei dem auch noch die einhüllende Kurve der Schwebung eingezeichnet ist. Eingezeichnet sind ferner die Schwingungsdauern  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T'$ ,  $T_s$ . Beachten Sie die unterschiedliche Verwendung von  $T'$  und  $T_s$ :  $T'$  stellt eine ganze Schwingung da;  $T_s$  ist keine echte Schwingungsdauer, sondern nur die Dauer zwischen zwei Minima der überlagerten Schwingungen.

Diese Schwingung hat die Frequenz  $f' = (f_1 + f_2)/2$ .

Sie schwillt mit einer Schwebungsfrequenz von  $f_s = f_1 - f_2$  an und ab. Die Erscheinung heißt Schwebung.

Überlagert man genügend harmonische Schwingungen verschiedener Frequenz und Amplitude in geeigneter Weise, kann man jede Schwingungsform beliebig genau annähern (Fouriersynthese). Einige Schritte für die Annäherung an eine rechteckige Schwingungsform sind in der Abb.3 angedeutet. Die Fouriersynthese und -analyse hat mittlerweile wegen der Möglichkeiten heutiger Rechner in einer Reihe von medizinischen Disziplinen Anwendungen gefunden (z.B. Analyse und Synthese von Elektrokardiogrammen oder Elektroenzephalogrammen).

Abb.3: Fouriersynthese einer Rechteckschwingung. Zur Welle mit der Grundfrequenz  $f$  werden Wellen addiert, deren Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz beträgt, deren Amplituden in diesem Fall immer kleiner werden.



Trägt man die Amplitude der jeweils addierten Frequenz gegen die Frequenz auf, erhält man ein sog. Frequenzspektrum. Im Fall der Rechteckschwingung aus Abb. 3 sieht das zugehörige Spektrum so aus:

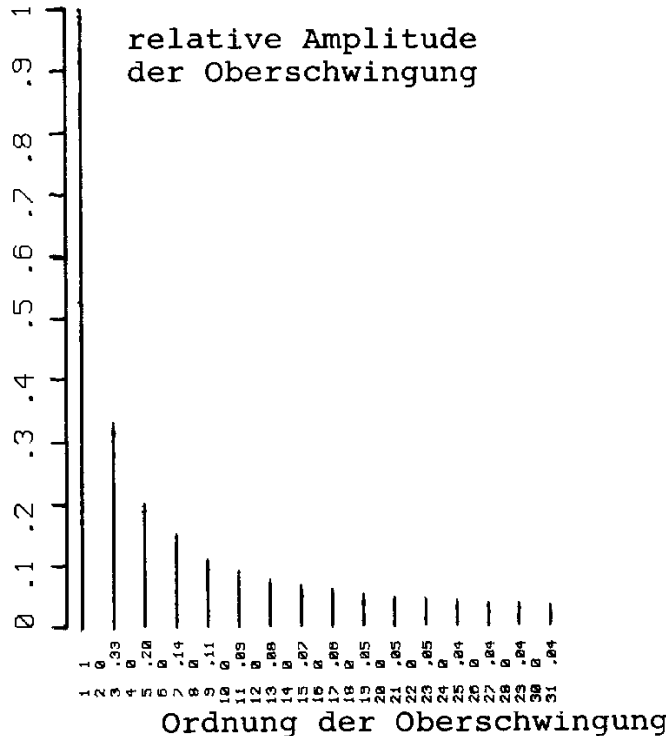


Abb.4: Spektrum einer Rechteckschwingung. Zur Grundfrequenz  $f$  werden in diesem Fall nur ungeradzahlige Vielfache der Grundfrequenz mit abnehmender Amplitude addiert.

In der Akustik bezeichnet man als einfachen bzw. harmonischen Klang einen Hörschall, der aus einer Reihe von sinusförmigen Teiltönen besteht, deren Frequenzen ganzzahlige

Vielfache einer Grundfrequenz sind. Man spricht auch von Grundton (Grundfrequenz) und Obertönen (ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz).  
 Verschiedene Musikinstrumente klingen z.B. bei gleichem Grundton ganz unterschiedlich; die Anzahl und die Amplitude der Obertöne ist von Instrument zu Instrument verschieden und macht den spezifischen Klang aus.

Aus Tönen beliebiger Frequenz zusammengesetzter Schall heißt Tongemisch.

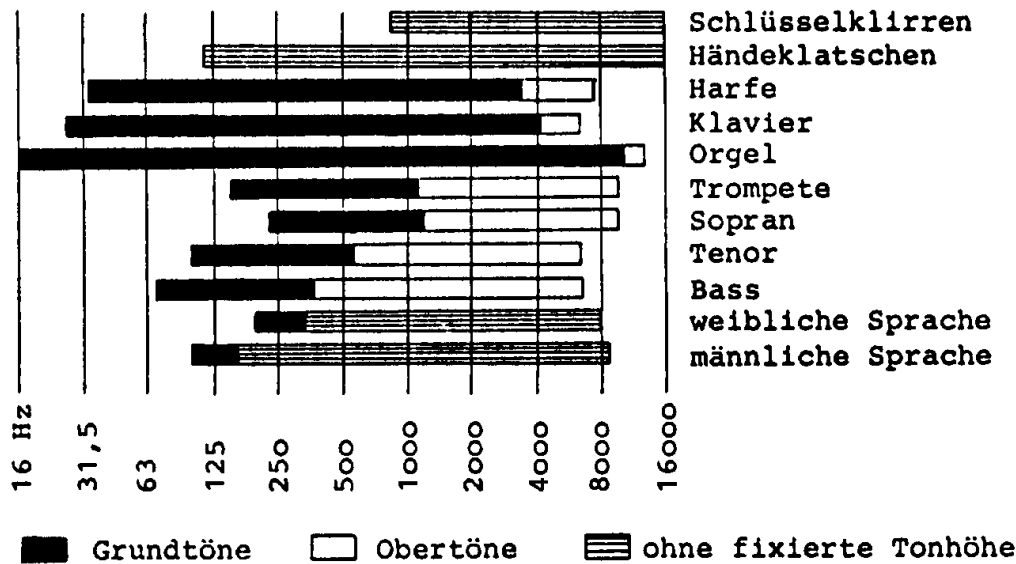


Abb.5: Frequenzumfang von Musikinstrumenten, menschlichen Stimmen und einiger Geräusche

#### 1.4 Schalldruckpegel

Schall in Gasen und Flüssigkeiten ist mit kleinen Änderungen des Drucks verbunden, die dem statischen Druck überlagert sind. Dieser überlagerte Wechseldruck wird als Schalldruck bezeichnet. Er wird in Pascal (Pa;  $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2 = \text{Newton/Quadratmeter}$ ) oder Mikrobar ( $\mu\text{bar}$ ) angegeben. Im Bereich der Medizin ist die Einheit  $\text{dyn/cm}^2$  noch sehr verbreitet. Es ist:  $1\text{Pa} = 10\mu\text{bar} = 10\text{dyn/cm}^2$ .

Weil die Angabe des (hörbaren) Schalldrucks selbst ziemlich unpraktisch ist - er schwankt über einen sehr großen Bereich von ca.  $10^{-5}$  Pa bis  $10^2$  Pa - führt man den sog. Schalldruckpegel  $L_p$  (kurz Schallpegel) ein:

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2}$$

$p_0$  ist ein international festgelegter Bezugsschalldruck. Es gilt  $p_0$

## SCH

Den Schalldruckpegel gibt man in Dezibel (dB) an. An sich hat der Ausdruck  $p^2/p_0^2$  als Quotient zweier gleichartiger Größen die Einheit eins. Entsprechend hat der Logarithmus die Einheit eins, sodaß für  $L_p$  eigentlich gar keine Einheit resultiert. In der Technik ist es aber vielfach üblich, logarithmische Verhältnisse der obigen Art mit dem Ausdruck Dezibel zu bezeichnen (z.B. auch in der Elektronik, Optik). Dezibel ist also keine Einheit im strengen Sinne, sondern dient nur zur Verdeutlichung.

Durch den in der Formel vorhandenen Logarithmus erreicht man, daß  $L_p$  Werte zwischen ca. 0dB und 140dB annimmt; das sind gut handhabbare Zahlenwerte.

Der Begriff Dezibel taucht bei fast jeder Schallmessung auf. Es ist insbesondere für Arbeitsmediziner, aber auch für Allgemeinärzte wichtig, mit diesem Maß umgehen zu können (Lärmbeurteilung, Audiometrie).

Besondere Vorsicht ist geboten, wenn man den Schallpegel mehrerer Schallquellen errechnen will. In diesem Fall muß man zunächst die Quadrate der Schalldrücke addieren und von dieser Summe den Schallpegel berechnen. Falsch wäre es, nur die Schalldrücke oder die Schallpegel selbst zu addieren!

**Merkregel:** Zwei gleichgroße Schallpegel addiert ergeben zusammen einen um 3dB größeren Schallpegel

Die Schallintensität ist proportional zu  $p^2$ . Für die Schallintensität einer Schallquelle gilt unter idealen Voraussetzungen (punktförmige Schallquelle, keine Absorption, keine Reflexion) ein quadratisches Abnahmegesetz.

Auf weitere in der physikalischen Akustik verwendete Begriffe wie Schallenergie, Schallleistung, Schallwiderstand, die auch in der physiologischen Akustik relevant sind, kann hier nicht eingegangen werden (siehe Lehrbuch oder Vorlesung).

Bei der Angabe eines Schallpegels ist es wichtig, das Frequenzband zu vermerken, auf das er sich bezieht. Man kann als Frequenzband den gesamten Hörbereich von 16Hz bis 16kHz wählen; man spricht dann von Gesamtschallpegel.

Man kann aber auch den Meßbereich in Oktaven, Terzen oder sonstige Unterteilungen gliedern. Dies wird meßtechnisch durch elektrische Bauglieder (Filter) - Oktav- oder Terzfilter genannt - gemacht. Filter bedeutet, daß im Idealfall jeglicher Schall mit Frequenzen innerhalb der Filtergrenzen durchgelassen und gemessen wird, während alles andere unterdrückt wird. In Wirklichkeit kann man keine Idealfilter bauen; es kommt auch immer etwas außerhalb der Filtergrenzen durch.

Bei Oktavfiltern hat man sich auf folgende Filtergrenzen und Mittenfrequenzen geeinigt ( $f_u$  untere Grenze,  $f_o$  obere Grenze,  $f_m$  Mittenfrequenz, Angabe in Hz):

$f_u$ [Hz]	22	44	88	177	355	710	1.420	2.840	5.680	11.360
$f_m$ [Hz]	31	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	16.000
$f_o$ [Hz]	44	88	177	355	710	1.420	2.840	5.680	11.360	22.720

Das Verhältnis  $f_o/f_u$  ist immer zwei; dies ist das Kennzeichen der Oktave. Wenn noch jede Oktave in drei weitere Teile aufgespalten wird, erhält man Terzbänder.

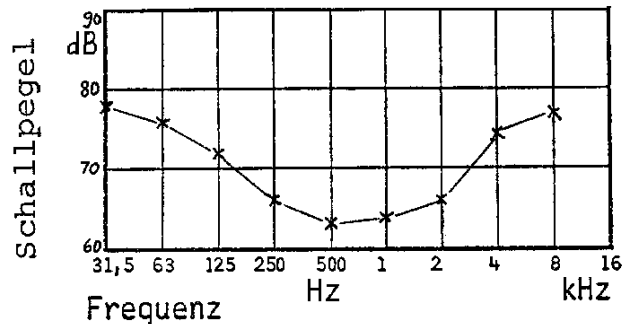


als Funktion der Mittenfrequenzen  $f_m$

Oktavanalyse vor sich.

*Abb.6: Oktavschallpegel eines Preßlufthammers (35kg Masse, in 7m Abstand).*

*Beim Preßlufthammer dominieren die tieffrequenten Auspuffgeräusche und die hochfrequenten Geräusche, die beim Aufprall des Kolbens auf den Meißel entstehen und die durch den gesamten Hammerkörper abgestrahlt werden.*



Aus den Schallpegeln  $L_{p_i}$  ( $i = 1$  bis  $n$ ;  $n =$  Anzahl der Oktavbänder) pro Oktavband kann man den Gesamtschallpegel  $L_p$  errechnen:

$$L_p = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{p_i}}{10}}$$

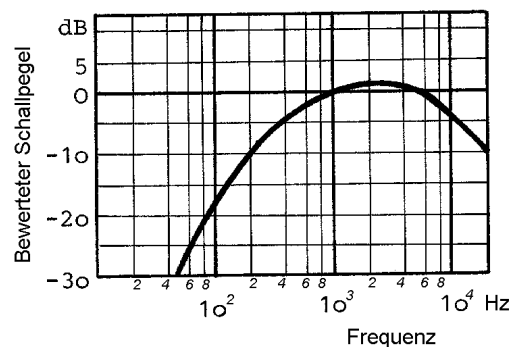
Diese Formel läßt sich entsprechend auf die Addition von Schallpegeln zur Errechnung des Gesamtschallpegels anwenden.

Die Formel läßt sich insbesondere auch zur Berechnung von frequenzbewerteten Gesamtschallpegeln heranziehen. Man muß dann nur die Schallpegel pro Oktavband  $L_{p_i}$  um einen Korrekturbetrag  $L_{K_i}$  entsprechend der Frequenzbewertung verändern (vgl. im folgenden).

Für viele Zwecke wird statt des einfachen Schallpegels ein sog. frequenzbewerteter Schallpegel gemessen bzw. ermittelt. Ein frequenzbewerteter Schallpegel entsteht dadurch, daß der einfache Schallpegel gemäß irgendeiner Vereinbarung frequenzabhängig bewertet wird. Am häufigsten wird der A-bewertete Schallpegel verwendet, der seine Begründung in der Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs hat (siehe später). Die Angabe des Schallpegels erfolgt dann in dB(A).

*Abb. 7: Bewertungskurve A für Schallpegel.*

*Bewerteter Schalldruckpegel bezogen auf den Wert bei 1000Hz in Abhängigkeit von der Frequenz.*



## SCH

Tabelle der Korrekturwerte  $L_{Ki}$  für die A-Bewertung in Abhängigkeit von der Frequenz  $f$  pro Oktavband.

$f$	Hz	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
$L_{Ki}$	dB	-39	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1	-7

Bei der Beurteilung von Lärm ist die Form dieser Kurve sehr wichtig. Sind hauptsächlich tiefe und sehr tiefe Frequenzen (bis hin zum Infraschall) an einem Lärm beteiligt, so kann der in dB angegebene Schall sehr viel größer sein, als der in dB(A) angegebene Schallpegel.

Neben der Frequenzbewertung spielt bei Schallpegeln auch noch eine Zeitbewertung eine Rolle. Sie dient dazu, Schallereignisse möglichst (empfindungs-) optimal zu bewerten.

Folgende Zeitbewertungen sind gebräuchlich:

### **Langsam (S) (engl.: slow):**

Für Schallvorgänge mit langsam veränderlichen Pegeln (z.B. gleichmäßiges Singen eines Tones)

### **Schnell (F) (engl. fast):**

Für Schallvorgänge, die länger als 200 ms dauern und nicht impulshaltig sind (z.B. sprechen)

### **Impuls (I):**

Für kurzdauernde und impulshaltige Geräusche (Dauer zwischen 1ms und 200ms; z.B. Händeklatschen)

Der Grund für die Einführung der Zeitbewertung ist in der Physiologie des Ohres zu suchen. Physikalisch äquivalente Schallpegel werden subjektiv verschieden bewertet.

Die Angabe eines Schallpegels sollte darum auch immer die Frequenzbewertungsform (A,...) und die Zeitbewertung (S, F, I) enthalten, z.B.:

$L_{AI}$  Schallpegel gemäß Frequenzbewertung A und Zeitbewertung Impuls I

$L_S$  Schallpegel ohne Frequenzbewertung; Zeitbewertung Langsam (Slow; S)

Schallpegelmeßgeräte zeigen direkt den Schallpegel an; sie enthalten je nach Qualität mehr oder weniger Frequenz- und Zeitbewertungen. Mit heutigen Computern ist es kein Problem, gleich eine Oktavanalyse, Terzanalyse bzw. noch genauere Analysen durchzuführen.

Die Angabe eines Schallpegels in einem Oktavband ist grundsätzlich frequenzunbewertet. Ein bewerteter Gesamtpegel läßt sich dann gemäß der gewünschten Bewertungskurve berechnen.

## 1.5 Lautstärkepegel

Bis jetzt war nur von physikalischen Größen und Messungen die Rede. Eigentlich interessierend sind aber Maße für die subjektive Wahrnehmung eines Schallvorgangs. Man definiert dazu:

Die **Lautstärke** eines Schalls beträgt  $n$  phon wenn dieser, beurteilt durch "normal" hörende Beobachter, als gleich laut erscheint wie ein reiner Ton der Frequenz 1000Hz, der von vorn auf den Beobachter trifft und dessen Schallpegel  $L_p = n\text{dB}$  beträgt.

Lautstärken in phon können also grundsätzlich nur durch einen subjektiven Hörvergleich bestimmt werden; objektive Meßmethoden liefern immer nur mehr oder weniger genaue Annäherungen.

Das Phon als Einheit hat sich bewährt, weil das Ohr Unterschiede von einem Phon gerade noch wahrnehmen kann.

Fleißige Untersucher haben viele Personen durchgemessen und Durchschnittswerte für die Beziehung zwischen Lautstärkepegel und Schalldruckpegel ermittelt (vgl. auch DIN 45 630, dort sind die Werte tabelliert):

Untersuchungen zur Beziehung zwischen Schalldruckpegel und Lautstärkepegel haben gezeigt, daß der A-bewertete Schalldruckpegel dB(A) die beste Übereinstimmung mit der subjektiven Empfindung gibt, solange keine allzu extremen Schallereignisse vorliegen (z.B. startendes Flugzeug in 5 m Abstand).

Die folgenden Zahlenwerte erlauben eine erste Einschätzung des Schallpegels:

Schallquelle	Schallpegel in dB(A)
Düsenflugzeug ca. 5 m	140
Beatmusik 2 m vom Lautsprecher	110 - 120
Preßlufthammer 1 m	120
Lastwagen 5 m	90
Straßenlärm Großstadt	70
Umgangssprache	50 - 60
Wohnquartier ohne Verkehr	40
Ticken einer Taschenuhr	20
Flüstersprache	10
Hörschwelle bei 4kHz	-5

Die in der Physik relativ exakt möglichen Definitionen mit daraus resultierenden Formeln dürfen nicht dazu verleiten, Folgerungen im Bereich der subjektiven Empfindungen allzuweit zu ziehen. Das betrifft z.B. die experimentell festgestellte Tatsache, daß ein Schallereignis subjektiv nicht doppelt so laut empfunden werden muß, auch wenn es physikalisch doppelt so "stark" ist, wie ein anderes. Man kommt auf diese Weise zur Definition der Lautheit (angegeben in sone). Für weitergehende Bemerkungen hierzu sei auf die Literatur verwiesen.

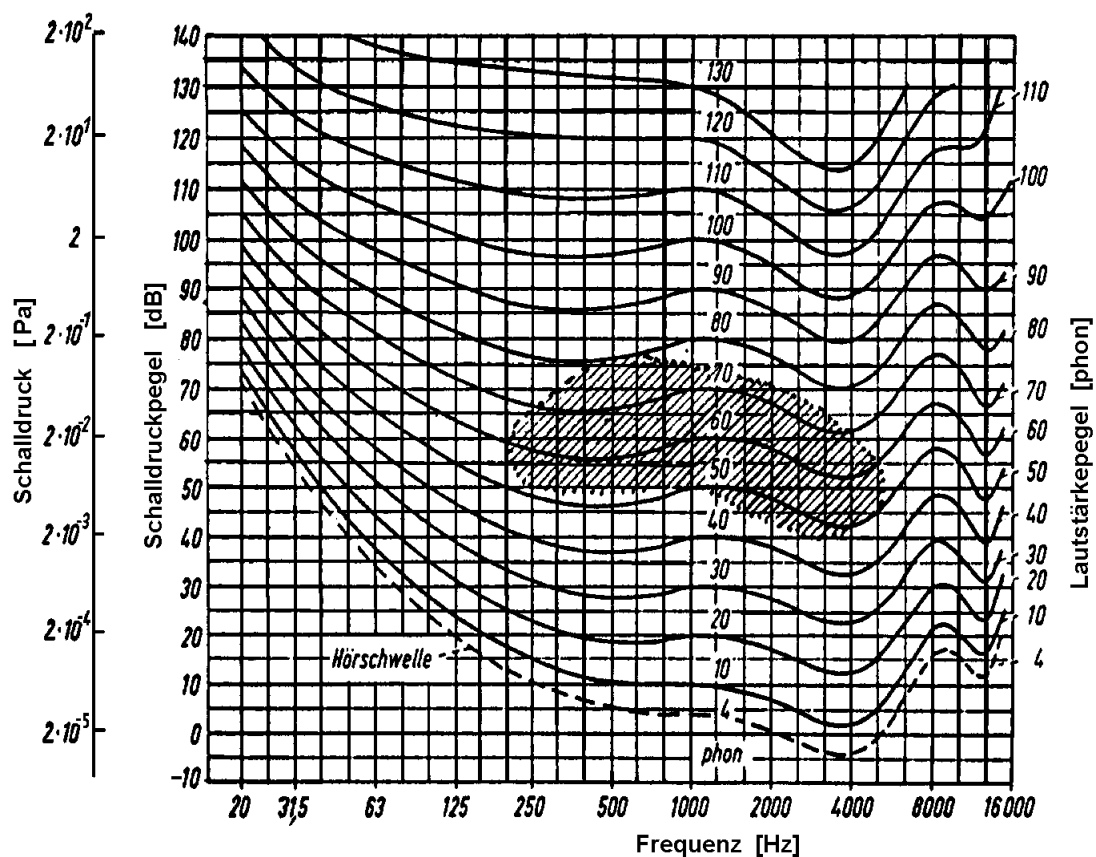


Abb.8: Kurven gleicher Lautstärkepegel nach DIN 45 630 für beidohriges Hören im freien Schallfeld. Neben dem Schalldruckpegel ist noch der absolute Schalldruck in Pascal (Pa) angegeben. Schraffiert ist das Hauptsprachgebiet eingezeichnet. Da in dieser Abbildung Mittelwerte eingezeichnet sind, braucht die individuelle Hörschwelle einer einzelnen Versuchsperson nicht damit übereinzustimmen. Natürliche Streuungen nach oben und auch nach unten sind möglich. Bei 80% aller gesunden Versuchspersonen weicht die individuelle Hörschwellenkurve im mittleren Frequenzbereich jedoch um weniger als 5 dB von der Normkurve ab.

Die wichtigste und verbreitetste Lärmwirkung ist die Belästigung. Sie ist eine psychische Kategorie und als solche erfragbar und aufgrund von Eigenerfahrungen verstehbar; eine klare Trennung von den vegetativen Reaktionen ist nicht möglich, vielmehr gehen psychische mit vegetativen Reaktionen verschiedener Stärke und Ausprägung einher.

Geräusche sind dann und nur dann belästigend, wenn sie von einer Bezugsperson als nicht übereinstimmend mit ihren augenblicklichen Intentionen erlebt werden. Ein tropfender Wasserhahn wird von einem konzentriert arbeitenden Menschen in einem ruhigen Raum als störend empfunden; Beat- oder Konzertmusik (fortissimo) braucht keineswegs als belästigend empfunden zu werden.

Da die Belästigung außer von den physikalischen Geräuschgrößen auch noch von einer Reihe von subjektiven Faktoren abhängt, ist es schwierig, allgemein gültige Richtwerte zur Vermeidung von Belästigungen anzugeben. Für Zwecke des Wohnungs- oder Bürobaus, Städtesanierung usw. benötigt man aber solche Richtwerte. Aus einer Reihe

von Studien kann man entnehmen, daß der Bereich für akzeptable Innenpegel nachts bei 25 bis 35dB(A) und tagsüber bei 35 bis 40dB(A) liegt. Von vielen Menschen werden aber auch noch 45dB(A) für Wohngehenden toleriert.

Aus den vorstehenden Angaben erkennt man, daß die Interpretierbarkeit objektiver physikalisch-technischer Meßgrößen begrenzt ist; sie können aber eine wichtige Grundlage z.B. zur Bewertung eines Gesamtkomplexes Krankheit bilden.

Weil die Auswirkung von Lärm auf die Gesundheit als immer wichtiger erkannt wird, sind eine Vielzahl von Vorschriften zum Schutz von Lärm erlassen bzw. werden ständig überarbeitet.

Es gibt z.B. Gesetze (Bundesfernstraßengesetz, Fluglärmgesetz) in denen zulässiger Grenzwerte für Lärmpegel enthalten sind. Eine Reihe von DIN-Normen enthalten Empfehlungen (DIN 4109 Haustechnische Anlagen, DIN 1946 Lüftungstechnische Anlagen, DIN 45639 Kraftfahrzeuge, usw.). Auch der Verein deutscher Ingenieure (VDI) veröffentlicht Richtlinien (VDI 2058 Geräuschquellen, bei denen die Gefahr eines Gehörschadens besteht, am Arbeitsplatz).

Die Arbeitsstättenverordnung vom 20. März 1975 sieht in Paragraph 15 (Schutz gegen Lärm) folgende Begrenzungen vor (wörtlich zitiert):

(1) In Arbeitsräumen ist der Schallpegel so niedrig zu halten, wie es nach Art des Betriebes möglich ist. Der Beurteilungspegel am Arbeitsplatz in Arbeitsräumen darf auch unter Berücksichtigung der von außen einwirkenden Geräusche höchstens betragen:

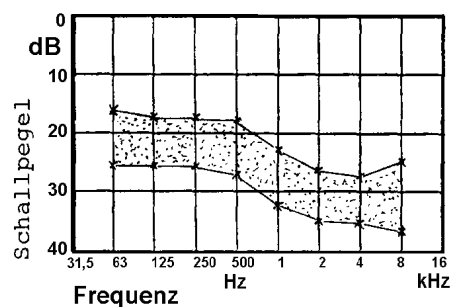
1. bei überwiegend geistigen Tätigkeiten 55dB(A)
2. bei einfachen oder überwiegend mechanisierten Bürotätigkeiten und vergleichbaren Tätigkeiten 70dB(A)
3. bei allen sonstigen Tätigkeiten 85dB(A); soweit dieser Beurteilungspegel nach der betrieblich möglichen Lärminderung zumutbarerweise nicht einzuhalten ist, darf er bis zu 5dB(A) überschritten werden.

Für Operationssäle, Behandlungs- und Patientenzimmer gilt als zulässiger Schallpegel ca. 35dB(A) (VDI 2081).

Neben Verbesserungen des allgemeinen Schallschutzes durch bessere Isolierung von Wänden, Böden, Decken bei Gebäuden oder durch Dämpfung von Maschinengeräuschen durch Verminderung in Resonanz schwingender Teile usw. kann man sich auch (oder zusätzlich) durch Gehörschutzstöpsel, -kappen oder -kapseln individuell schützen. Gut ins Ohr eingeführte Stöpsel aus Watte dämmen den Schall etwa wie folgt:

*Abb.9: Dämmung von Gehörschützern, speziell Schutzstöpsel. Punktiert ist der Streubereich der Messungen.*

*Tiefe Frequenzen (z.B. Verkehrslärm) werden weniger gedämmt als hohe Frequenzen.*



## 2 Versuchszubehör

Schallpegelmeßgerät mit Oktavbandfilter

Eichschallquelle (1000 Hz)

Stimmgabeln verschiedener Frequenz

Rechner (PC mit Spezialprogramm) als Speicheroszilloskop

Audiometer

Stroboskop

diverse Kleinteile wie Hupe, Verbindungskabel usw.

(Fouriersynthesizer + Oszilloskop + Lautsprecher)

### 2.1 Beschreibung des Schallpegelmeßgeräts

Der Schallpegelmesser bei diesem Versuch stellt eine Art kleines Schalllaboratorium dar. Sie können sowohl Schallpegel mit verschiedenen Bewertungen (A, linear) durchführen, als auch Oktavbandanalysen vornehmen.

Bitte drehen Sie an keinem Knopf oder Schraube, der nicht ausdrücklich in der Beschreibung erwähnt wurde.

1. Schallpegelanzeige (bis 130dB).

2. Frequenzbewertung (A, B, C, flat =linear) findet nur statt, wenn der Oktavbandschalter 5 auf weighting steht.

3. Oktavbandbereichsanzeige

4) Batterieprüfknopf

5) Oktavbandschalter (einstellbar sind die in der Anleitung wiedergegebenen Mittenfrequenzen). Bei eingestelltem Oktavband ist die Bewertung A, B, oder C ausgeschaltet.

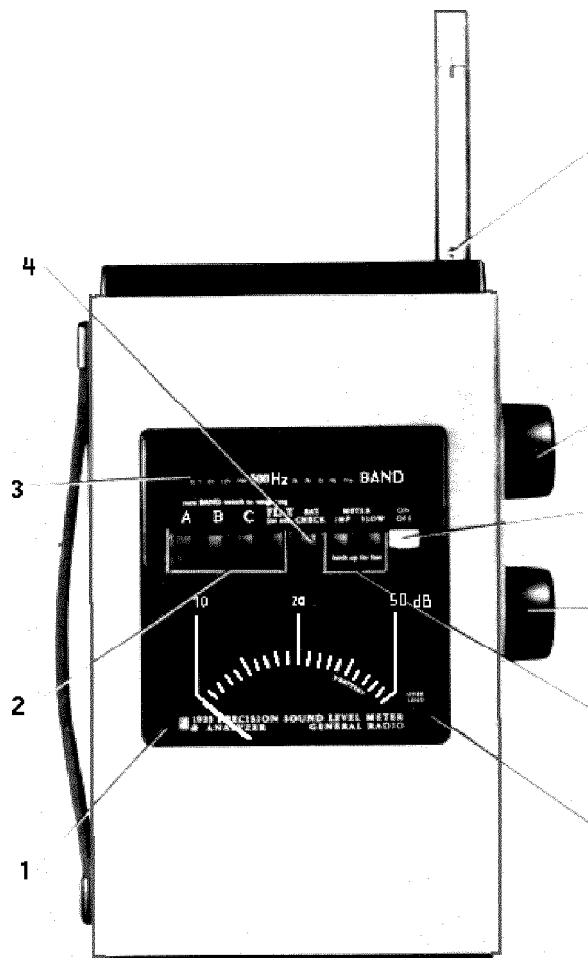
6) Ein/Aus-Schalter (evtl. Netzgerät zusätzlich einschalten)

7) dB-Bereichsumschalter

8) Zeitbewertungsschalter (impuls, fast, slow)

9) Overload (leuchtet auf, wenn der Schallpegel für den gewählten Bereich überschritten wird)

10) Arretierungsknopf. Mikrofonmast nicht drehbar!!



## **2.2 Computer als Schallmeß- und Schallanalysegerät**

Mit Hilfe eines Mikrofons können Sie mit einem Computer Schallschwingungen aufnehmen, auf einem Monitor darstellen und ausdrucken lassen. Bei heutigen Rechnern ist das häufig mit sogenannten Soundkarten schon realisiert. Der große Vorteil gegenüber einem einfachen Oszilloskop liegt darin, daß die Schallereignisse gespeichert werden und ohne Schwierigkeiten angesehen und interpretiert werden können.

Eine Einführung in die Bedienung des Gerätes wird Ihnen vom Betreuer oder Praktikumsleiter gegeben. Bitte vor dem Benutzen des Computers fragen!

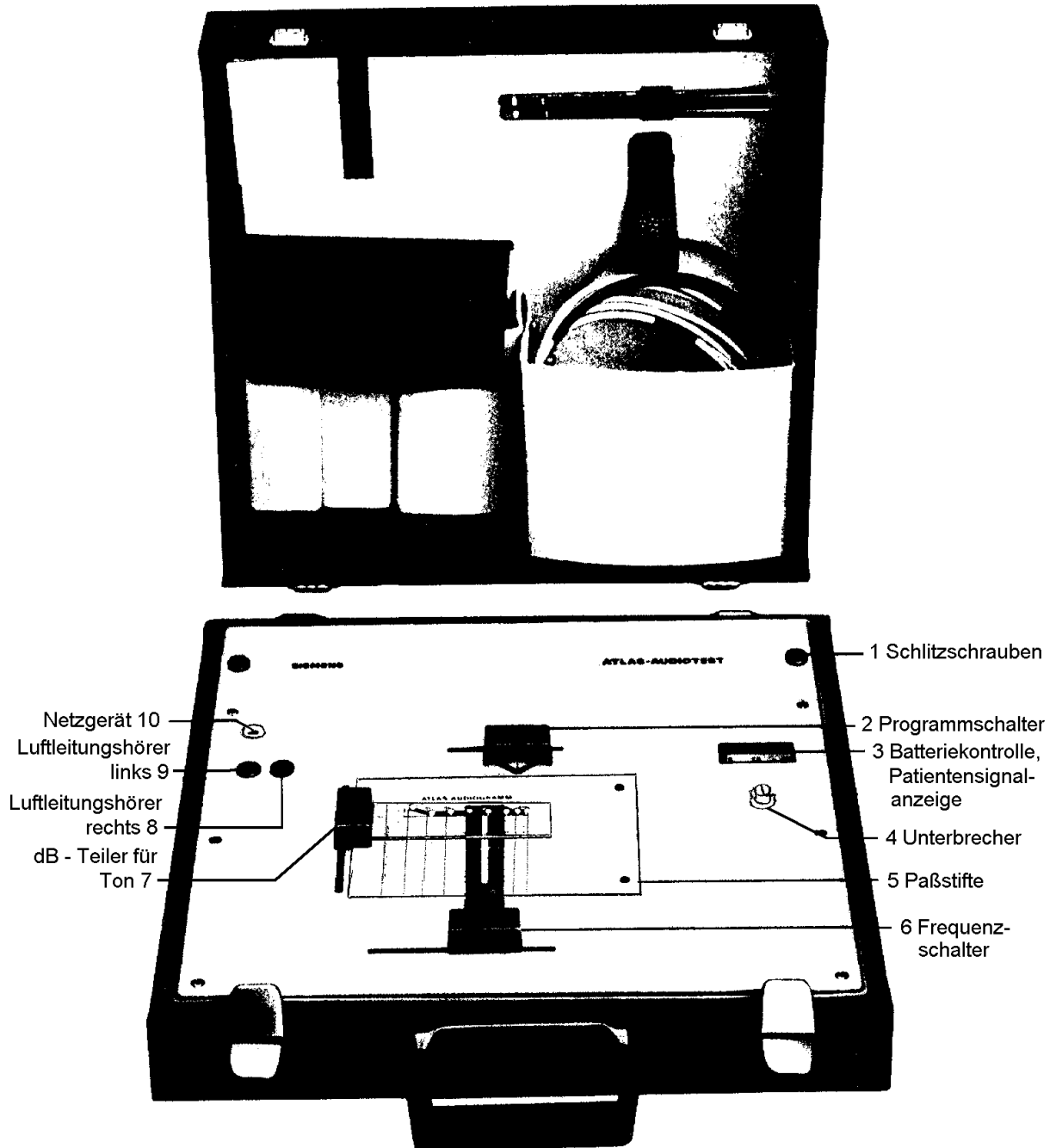
## **2.3 Audiometer**

Mit dem Audiometer messen Sie Ihre eigen Hörfähigkeit unter den erschwerten Praktikumsbedingungen. Auf der nächsten Seite ist die Originalbedienungsanleitung abgedruckt.

## **2.4 Fouriersynthesizer und Oszilloskop**

Lassen Sie sich diese Geräte vom Betreuer erklären. Sie können an diesem Gerät bis zu neun Oberwellen getrennt hinzuschalten und sicht- und hörbar machen.

# Bedienungsanleitung Audiometer





## Allgemeines

Das Audiometer ist ein tragbares Audiometer zur Messung der Hörschwelle bei Luftleitung. Das Gerät ist in seinem Gesamtaufbau äußerst robust. Das Holzgehäuse in Kofferform ist mit schwarzem, genarbttem Kunststoff überzogen.

Das Zubehör ist im Gehäusedeckel übersichtlich untergebracht.

Die Aufzeichnung des Audiogramms erfolgt halbautomatisch.

Das Gerät arbeitet wahlweise mit Batterien oder Netzgerät.

Die Betriebsdauer bei Batteriebetrieb liegt bei etwa 150 Stunden.

Das Gerät entspricht der Schutzklasse III nach VDE 0750 und den einschlägigen DIN-Normen.

## Bedienungselemente

- ① Schlitzschrauben zur Befestigung der Batterieraum-Abdeckplatte
- ② Programmschalter zur Wahl der gewünschten Betriebsart in Übereinstimmung mit den auf der Audiogrammkarte aufgedruckten Stellungen:

**Aus** Das Gerät ist ausgeschaltet

**L links** Der Luftleitungsdoublekopfhörer ist in Betrieb:  
Links Ton  
Rechts abgeschaltet

**L rechts** Der Luftleitungsdoublekopfhörer ist in Betrieb:  
Rechts Ton  
Links abgeschaltet

- ③ Instrument zur Kontrolle der Batteriespannung (Zeiger muß im roten Bereich stehen) und zur Anzeige einer Betätigung der Patiententaste
- ④ Drucktaste zum Einschalten des mit Schiebeshalter ⑤ gewählten Tons. Die Taste kann im gedrückten Zustand durch Drehung um 90° arretiert werden.
- ⑤ Paßstifte zum Fixieren der Audiogrammkarte
- ⑥ Schiebeshalter zum Einstellen der Prüffrequenz
- ⑦ dB-Teiler für den Ton
- ⑧ Anschlußbuchse für den rechten Luftleitungshörer
- ⑨ Anschlußbuchse für den linken Luftleitungshörer
- ⑩ Anschlußbuchse für das Netzanschlußgerät

## Inbetriebnahme

### Einlegen der Batterien (Batteriebetrieb)

■ Schlitzschrauben ① mit Hilfe einer Münze lösen und Batterieraum-Abdeckplatte abnehmen.

■ Mitgelieferte 1,5 V-Batterien gemäß dem im Batterieraum aufgedruckten Schema einsetzen. (Bei Nachbestellung nur auslaufsichere Monozellen mit der Typenbezeichnung Pertrix 282 verwenden!)

■ Programmschalter ② in die Stellung L-links schieben. Zeigerstellung des Instruments ③ kontrollieren. Die Anzeige muß im roten Bereich liegen.

Liegt die Anzeige links von diesem Teilstrich, besteht die Gefahr, daß bei hohen Lautstärken Verzerrungen auftreten. In diesem Fall müssen die Batterien ausgewechselt werden.

■ Programmschalter in die Stellung Aus schieben.

■ Batterieraum-Abdeckplatte festschrauben.

### Verbindung mit dem Netzanschlußgerät

■ Prüfen, ob das verwendete Netzgerät auf 12 V Gleichspannung sowie auf die vorhandene Netzspannung eingestellt ist. Es besteht die Anschlußmöglichkeit an 110 V oder 220 V, 50 ... 60 Hz.

■ Niederspannungsanschluß (12 V) des Netzanschlußgerätes mit der Anschlußbuchse ⑩ verbinden und das Netzgerät an das Netz anschließen.

■ Programmschalter ② in die Stellung L-links schieben. Zeigerstellung des Instruments ③ kontrollieren. (Die Anzeige muß im roten Bereich liegen).

■ Programmschalter ② in die Stellung Aus schieben.

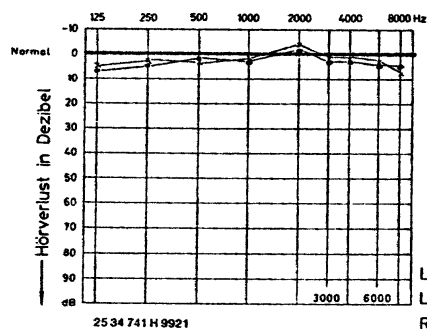
### Anschluß der Hörer

■ Die Stecker des Luftleitungsdoublekopfhörers (rot und blau) in die farblich dazu passenden Buchsen ⑧ und ⑨ stecken.

### Luftleitungsprüfung

Die audiometrische Prüfung soll in einem Raum stattfinden, der von störenden Umweltgeräuschen weitgehend befreit ist. Ist das nicht möglich, wird die Verwendung von Schallschutzkappen empfohlen. Eine noch bessere Schalldämmung wird durch Hörprüfkabinen erreicht.

## ATLAS-AUDIOGRAMM



Normales  
Audiogramm

(unter  
idealen  
Meßbe-  
dingungen)

Luftleitung —  
Linkes Ohr :blau=x  
Rechtes Ohr:rot =

Die Methodik der Audiometrie ist der Literatur zu entnehmen.

■ Audiogrammkarte einschieben und mit den Paßstiften ⑤ fixieren.

■ dB-Teiler ⑦ bis zum Anschlag in Richtung Batterieraum schieben.

■ Drucktaste ④ niederdrücken und durch Drehen um 90° arretieren.

■ Gehäusedeckel zwischen Gerät und Patient aufstellen, um ihm die Einsicht in den Meßplatz zu verwehren.

■ Luftleitungsdoublekopfhörer dem Patienten aufsetzen (rot-markierter Hörer rechts, blau-markierter Hörer links).

Die Hörer bzw. die Schallschutzkappen mit eingebauten Hörern müssen fest anliegen, wobei zu beachten ist, daß die Schallaustrittsöffnung über dem Gehörgang liegt.

Brillenträger müssen wegen des besseren Sitzes der Hörer die Brille abnehmen. Auch ist dafür zu sorgen, daß sich keine Haare zwischen Hörer und Ohr befinden.

■ Programmschalter ② in die Stellung L-links oder L-rechts schieben.

■ Prüffrequenz mit dem Schiebeshalter ⑥ wählen.

■ Lautstärke des Prüftons durch Heranziehen des dB-Teilers ⑦ gleichmäßig erhöhen, bis der Patient durch Handzeichen angibt, daß er den Ton hört. Um zu kontrollieren, ob der Patient wirklich den Prüftón hört, kann der Ton knackfrei durch Lösen der Drucktaste ④ ausgeblendet werden.

■ Meßpunkt auf der Audiogrammkarte mit dem entsprechenden Farbstift festhalten (Loch der Plexiglasschablone über dem Schlitz der gelben Frequenzschablone).

Bevor die nächste Prüffrequenz eingestellt wird, muß der dB-Teiler ⑦ wieder in die Ausgangsposition geschoben werden.

In dieser Form wird die Hörschwelle beider Ohren für alle einstellbaren Frequenzen gemessen.

■ Die Meßpunkte werden mit geraden Linien zum Luftleitungsdiagramm verbunden.

○ — ○ = rechts (rot)  
X — X = links (blau)

## Literatur

Niemeyer, W. Kleines Praktikum der Audiometrie, 2. Aufl., Thieme Verlag Stuttgart 1972

Langenbeck, B., Lehnhardt, E. Lehrbuch der praktischen Audiometrie, 4. Aufl., Thieme Verlag Stuttgart 1970

Montadon, A. Funktionsprüfungen des Innenohres, Thieme Verlag Stuttgart 1960

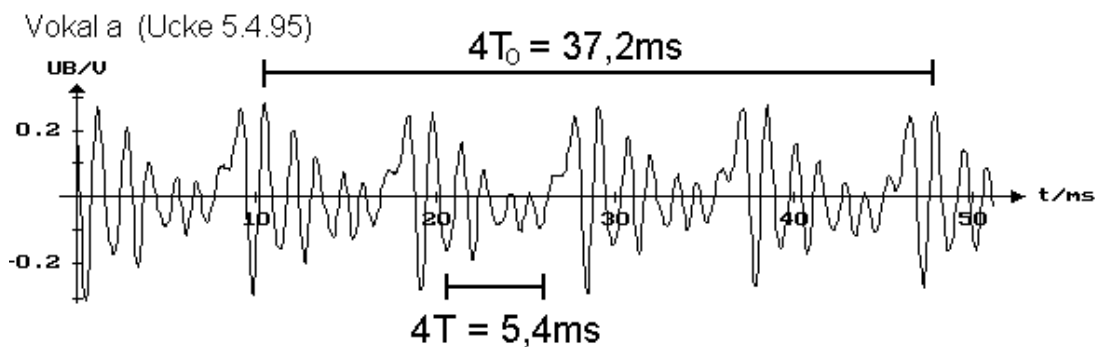
Keller, F. Technische Hilfe bei der Rehabilitation Hörgeschädigter, Schindele Verlag Karlsruhe 1973

## Computer als Schallmeß- und Schallanalysegerät

Mit Hilfe eines Mikrofons können Sie mit einem Computer Schallschwingungen aufnehmen, auf einem Monitor darstellen und auch ausdrucken lassen. Bei heutigen Rechnern ist das häufig mit sogenannten Soundkarten schon realisiert. Der große Vorteil gegenüber einem einfachen Oszilloskop liegt darin, daß die Schallereignisse angesehen, gespeichert und ausgewertet werden können (sog. Speicheroszilloskop).

Eine Einführung in die Bedienung des Gerätes wird Ihnen vom Betreuer oder Praktikumsleiter gegeben. Bitte vor dem Benutzen des Computers fragen!

Eine mit dem Computer aufgezeichnete Schallschwingung sieht wie im Bild dargestellt aus:



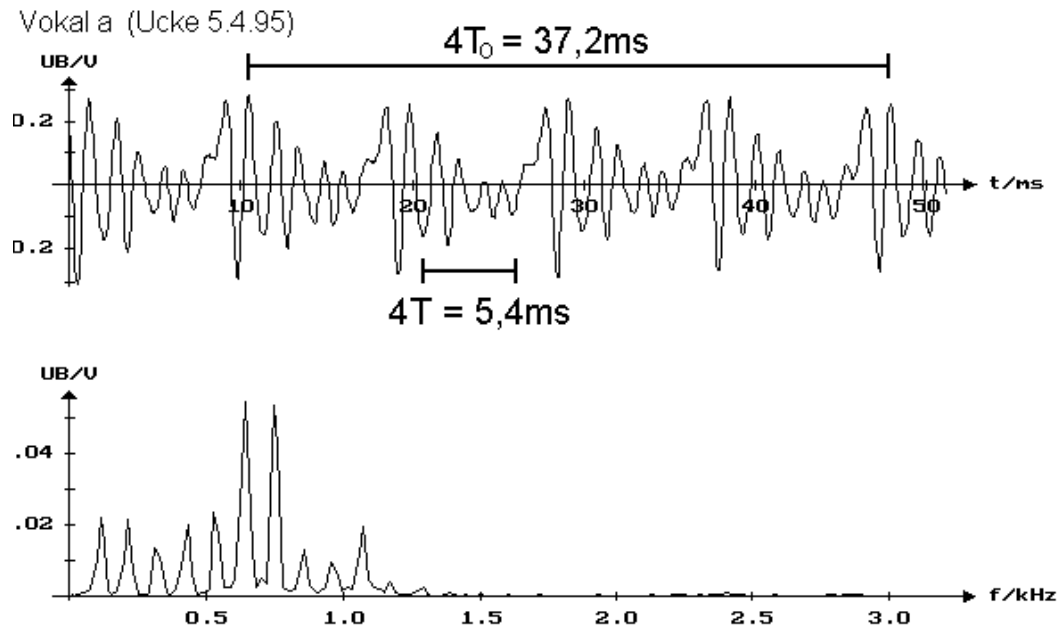
Die Abszisse ist die Zeitachse; hier ist die Achse in ms (=Millisekunden) skaliert. Die Ordinate zeigt die relative Amplitude der Schallschwingung an; die absolute Amplitude spielt für diesen Versuchsteil keine Rolle.

Auf dem Bild kann man erkennen, daß gewisse Amplitudenstrukturen regelmäßig wiederkehren. Man kann auf diese Weise die Dauer von Grund- und Oberschwingungen abschätzen und daraus die Frequenzen bestimmen.

Grob kann man sofort sehen, daß sich die Struktur etwa alle 10ms periodisch wiederholt. Genauer entsprechen 4 Perioden der Grundschwingung 37,2ms, d.h.  $T_0 = 9,3\text{ms}$ . Daraus folgt für die Frequenz der Grundschwingung  $f_0 = 107\text{Hz}$ . Darüberhinaus kann man grob entnehmen, daß 4 Oberschwingungen 5,4ms entsprechen, d.h. die Frequenz dieser Oberschwingung beträgt  $f \approx 741\text{Hz}$

**Zusatz für Interessierte:**

Mit einem Zusatzprogramm läßt sich von dem aufgezeichneten Schallereignis eine Fourieranalyse machen. Es ergibt sich folgende Darstellung:



Im unteren Teil der Abbildung lassen sich die Frequenzen und relativen Amplituden der Sinuschwingungen entnehmen, aus denen sich die obere Schwingung zusammensetzen läßt. Die Grundschwingung von 107Hz ist die tiefste dargestellte Frequenz, die Oberschwingung von 741Hz stellt sich hier als eine von mehreren Oberschwingungen heraus. Es würde zu weit gehen, an dieser Stelle noch mehr Einzelheiten der Fourieranalyse darzustellen.

### 3 Versuchsdurchführung und -auswertung

#### 3.1 Spielen mit Stimmgabeln

Mit Stimmgabeln lassen sich sehr reine Töne erzeugen. Stimmgabeln sind ein Hilfsmittel zur Lokalisierung von Schwerhörigkeiten (Innenohr, Schalleitungsstörung).

Beim Versuch liegt eine Stimmgabelbesteck nach Hartmann für Ohrenärzte aus.

Die folgenden Vorschläge für eine Versuchsdurchführung brauchen nicht aber können protokolliert werden.

**Hinweis:** Spielen Sie zu Beginn des Versuchs nicht zu lange. Teilen Sie sich Ihre Zeit ein.

Vorschläge	Fragen zur Vertiefung
Untersuchung der Abstrahlungscharakteristik von Stimmgabeln (qualitativ mit dem Ohr)	In welche Richtung strahlt die Stimmgabel nach Ihrem Gehör die maximale und minimale Lautstärke ab? Mit welcher Gabel geht es am besten?
Probieren Sie die Oktavstimmgabeln aus	Um welchen Faktor nimmt die Frequenz mit einer Oktave zu?
Schallausbreitung in Luft und Materie: angeregte Stimmgabel in Kontakt mit Tisch, Fensterscheibe, Fußboden usw.	Wie und warum hören Sie eine auf die Stirn gesetzte Stimmgabel anders als in Luft? Mit welcher Gabel geht es am besten und warum?
Gegenseitige Anregung von Stimmgabeln, die auf Resonanzhohlkörpern montiert sind	Wie müssen die Holzkästen zueinander orientiert sein, um optimale Anregung zu erhalten?
Leichtes Verstimmen einer der beiden 440Hz-Stimmgabeln auf dem Resonanzkörper durch Verschieben der Klemmen	Wie bezeichnet man das An- und Abschwellen des Tones bei Anregung von zwei, gering verstimmt Stimmgabeln?
Beobachten der schwingenden Stimmgabeln mit stroboskopischer Beleuchtung	Bei welchen Frequenzen des Stroboskops stehen die Stimmgabeln scheinbar still? Wie könnte man daraus die Frequenz der Stimmgabel errechnen?

### 3.2 Schallanalyse mit dem Schallpegelmeßgerät

Bei den folgenden Versuchen sollen Sie den Schallpegel eines Schallereignisses in dB und dB(A) sowie mit Filterbewertung im Oktavband messen. Das bedeutet, daß Sie insgesamt 12 Schallpegelwerte notiert haben müssen: 2 Gesamtschallpegel in dB und dB(A) sowie 10 Schallpegel in den Oktavbändern.

Bei jedem Schallereignis müssen Sie außerdem entscheiden, welche Zeitbewertung angemessen ist: schnell (=fast), langsam (=slow) oder impuls (falls entsprechender Schalter vorhanden). Vermerken Sie die gewählte Einstellung entsprechend der vereinbarten Nomenklatur.

Außerdem ist es notwendig, den Abstand Schallquelle - Schallpegelmeßgerät zu notieren (wo immer möglich).

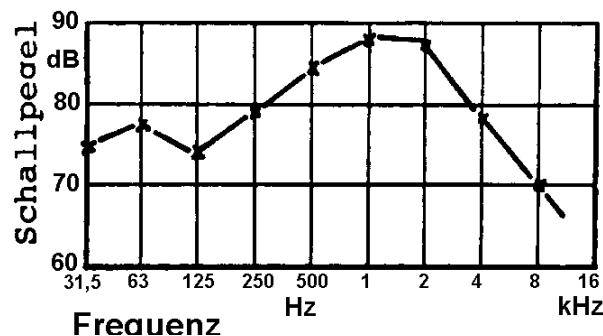
Die Oktavbandschallpegel werden einerseits als Zahlenwert notiert, zum anderen grafisch in der folgenden Weise aufgetragen:

*Vorbeifahrgeräusch eines Eisenbahnzuges (120km/h in 10m Abstand)*

*Gesamtpegel:*

$$L_S = 92 \text{ dB b.z.w.}$$

$$L_{AS} = 92 \text{ dB(A)}$$



Beim Versuch liegen vorbereitete Blätter mit der hier benutzten Frequenzeinteilung aus.

Bei diesem Versuch sollen u.a. Beobachtungsfähigkeit und adäquates Protokollieren geübt werden. In die Versuchsausarbeitung gehören außer den eigentlichen Meßwerten und den zugehörigen Frequenzdiagrammen alle relevanten Randbedingungen der Messungen vermerkt!!

#### 3.2.1 Batterie-Check

Prüfen Sie mit der entsprechenden Taste zu Beginn und auch zwischendurch, ob die Batterieladung noch ausreicht.

#### 3.2.2 Zimmerlärm

- Analysieren Sie den Schall im Zimmer bei geschlossenem Fenster.
- Öffnen Sie ein oder mehrere Fenster zur Straße und wiederholen Sie die Analyse im Zimmer.

## SCH

Auswertung: Zeichnen Sie beide Oktavbandanalysen in ein Frequenzdiagramm.

Wie groß ist die Dämpfung eines Doppelfensters? (in dB(A)?)

Berechnen Sie für das geschlossene Fenster aus den Schallpegelmessungen für jede Oktave den Gesamtpegel in dB und dB(A) und vergleichen Sie die so errechneten Werte mit den direkt gemessenen Werten.

### 3.2.3 Sprache

Analysieren Sie die Stimme Ihres Praktikumpartners, während er Ihnen den Theorieteil der Anleitung möglichst gleichmäßig und eintönig vorliest.

Auswertung: In welchem Frequenzbereich spielt sich die Sprache hauptsächlich ab?

Geschlecht der Versuchspersonen notieren.

Frequenzdiagramm zeichnen

### 3.2.4 Pfeifen

Wie hoch ist der Schallpegel beim lautesten bzw. leisesten Pfeifgeräusch mit dem Mund in 10cm Abstand vom Mikrofon?

(Oktavbandanalyse hier nicht erforderlich aber möglich)

### 3.2.5 Hupe

Messen Sie den Schallpegel  $L_p$  des Schallcalibrators in Abhängigkeit vom Abstand  $r$  vom Mikrofon des Schallpegelmessers. Stellen Sie beim Schallpegelmessers das 1kHz-Oktavband ein. Nehmen Sie mindestens 8 Messwerte im Bereich zwischen 1cm und 50cm in vernünftigen Abständen auf.

Auswertung: Tragen Sie den Schallpegel  $L_p$  in Abhängigkeit vom Abstand  $r$  in halblogarithmisches Papier auf. Es sollte sich eine Gerade ergeben.

Theoretisch gilt ein Zusammenhang  $L_p = a - 20 \cdot \log r$  ;

$a$  ist eine Konstante.

Frage: Wie kommt es zu diesem Zusammenhang?

Vergleichen Sie Theorie mit dem Experiment, d.h. konkret: Ergibt sich eine Gerade und hat sie die korrekte 'Steigung'?

### 3.2.6 Klatschen

Messen Sie den durch Händeklatschen erreichbaren Schallpegel in dB(A).

### 3.2.7 Weitere Schallquellen

Vielleicht finden Sie noch weitere Geräusche, die Sie analysieren möchten. Tragen Sie sie in die entsprechenden Frequenzdiagramme ein oder notieren die Werte.

## 3.3 Messungen mit dem Audiometer

### 3.3.1 Hörverlustkurve

Nehmen Sie Ihre eigene Hörverlustkurve auf. (Bedienungsanleitung liegt auch beim Versuch aus)

Wie hängt der unter Punkt 3.2.2 analysierte Zimmerlärm mit der Hörverlustkurve zusammen?

Hinweis: Das bei diesem Versuch benutzte Audiometer wird auch in der medizinischen Praxis verwendet.

### 3.3.2 Dämpfung von Wattepfropfen

Wiederholen Sie die Messung mit Wattepfropfen (Oropax) in den Ohren. Tragen Sie die Messungen in dasselbe Audiogramm ein.

Auswertung: Bei welcher Frequenz dämpft der Wattepfropfen am besten?

Um welchen Faktor ändert sich der Schalldruck bei dieser Frequenz?

### 3.3.3 Zusatzversuch (freiwillig)

Beschallen Sie Ihr Ohr fünf Minuten mit der Eichschallquelle (sound level calibrator), indem Sie diesen direkt an das Ohr halten und nehmen Sie anschließend ein Audiogramm auf.

Hat sich das Audiogramm verändert?

Hinweis: Gleiche oder sogar noch viel weitergehende, weil bleibende Schädigungen hervorrufende Effekte können Sie beim Hören von Musik mit Kopfhörern erreichen (z.B. beim Walkman oder ähnlichen Geräten).

# SCH

## 3.4 Schallversuche mit dem Computer

Lassen Sie sich die Bedienung des Rechners vom Betreuer oder Praktikumsleiter zeigen. Bitte legen Sie nicht ohne vorherige Rücksprache los!!!

Machen Sie von den wichtigsten Schallereignissen je einen Ausdruck.

### 3.4.1 Pfeifen mit dem Mund

Bestimmen Sie die höchste und die niedrigste Frequenz, die Sie mit dem Mund pfeifen können.

Handelt es sich um einen reinen Ton?

### 3.4.2 Singen

Singen Sie den Kammerton a, sprechen Sie die Vokale a, e, i, u.

Versuchen Sie die Grundfrequenz und eventuell Obertonfrequenzen zu bestimmen.

Hinweis: Das geht nur sehr grob, aber es geht. Primär sollen Sie bei diesem Versuch einen visuellen Eindruck der Darstellbarkeit und Interpretierbarkeit von Tönen bekommen.

### 3.4.3 Stimmgabeln

In welchem Frequenzbereich läßt sich die verstellbare Stimmgabel auf dem Resonanzkasten variieren?

Stellen Sie dazu zwischen beiden Stimmgabeln eine gut hörbare Schwebung ein und machen Sie die Schwebung auf dem Bildschirm sichtbar (+Ausdruck).

Ermitteln Sie aus der Schwebungsfrequenz und der Frequenz der nicht verstellten Stimmgabel die Frequenz der verstellten Stimmgabel.

Führen Sie diese Messung und Berechnung Ihrem Betreuer vor!

### 3.4.4 Zusatzversuche (freiwillig und nur nach Rücksprache)

#### 3.4.4.1 Fourieranalyse

Machen Sie mit dem Rechner Fourieranalysen einiger Schallereignisse.

#### 3.4.4.2 Fouriersynthesizer

Spielen Sie mit dem Fouriersynthesizer; Ihr Betreuer zeigt es Ihnen.



## 4 Aufgaben

- 1) Welche Wellenlänge hat ein Sinuston von 100Hz, 1kHz, 10kHz in Luft?  
( $c_{\text{Luft}} = 330\text{m/s}$ )
- 2) Charakterisieren Sie Ton, Klang, Geräusch durch ihre Wellenformen.
- 3) Ein Motorrad erzeuge einen Schalldruckpegel von 80dB(A).
  - a) Welchen Schallpegel erzeugen zwei Motorräder?
  - b) Wieviel Motorräder erzeugen einen Schallpegel von 100db(A)?
- 4) Wieviel dB entsprechen einem Schalldruck von  $p=0$  Pa?
- 5) Ungefähr um welchen Faktor muß der Schalldruck bei der bei der Frequenz 31,5Hz größer sein als bei 1000Hz, damit man den Ton gerade noch hört (Hörschwelle; vgl. Abb. 8)?
- 6) Welche Frequenz- und Zeitbewertungen bei Schallpegelmessern kennen Sie und wozu sind sie gedacht?
- 7) Bei einer Frequenz von 4kHz entspricht ein Lautstärkepegel von 4phon sogar negativen Schallpegeln.  
Was bedeutet das?
- 8) Nennen Sie Näherungswerte für Schalldruckpegel von einigen Schallquellen.
- 9) Warum ist die Angabe von physikalisch-technisch gemessenen Schallpegeln noch keine hinreichende Erklärung für Lärmbelästigung?
- 10) Welche Oktavbandcharakteristik müßte ein Gehörschutz haben, der beim Geräusch eines Preßlufthammers (vgl. Abbildung in der Anleitung) eine optimale Sprachverständlichkeit gewährleistet?
- 11) Bei einer Oktavbandanalyse haben Sie folgende Werte gemessen:

f	Hz	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
$L_{pi}$	dB	53	52	50	43	38	28	25	18	18	15

Wie groß ist der Gesamtschallpegel in dB und dB(A)?

**THE FAR SIDE**

By GARY LARSON



© 1986 Universal Press Syndicate

© 1986 UNIVERSAL PRESS SYNDICATE. ALL RIGHTS RESERVED.

"Mr. Osborne, may I be excused? My brain is full."