

## Das Ohr

### 1.) Die Physik des Ohres

Schall entsteht durch Schwingbewegungen von Körpern. Solche Körper heißen Schallerreger. Die Schwingungen erfolgen so rasch, dass unser Auge sie nicht verfolgen kann. Schall ist hörbar, wenn seine Frequenz mindestens 16 Hertz beträgt, aber rund 16 000 Hertz nicht übersteigt.

Hertz (Hz) ist die Einheit der Frequenz. Unter Frequenz versteht man der Schwingungswellen pro Sekunde an :  
 $1 \text{ Hz} = 1 \text{ 1/s}$

Beispiele: Schwingt eine eingeklemmte Stricknadel in 1 Sekunde 50 mal hin und her, dann vernehmen wir einen tiefen Brummtönen. Die Frequenz beträgt 50 Hz. Den Schall im Frequenzbereich oberhalb der Hörgrenze des Menschen, ca. 20 000 Hz nennt man Ultraschall. Hunde und Fledermäuse können diesen Bereich wahrnehmen (letztere bis zu 70 000 Hz).

Der Schall braucht einen Träger. Dies ist meistens die Luft. Wie ein Stoß durch eine Reihe von dicht anliegenden Dominosteinen, so leiten auch die benachbarten Luftteilchen die Schwingstöße des Schallerreger an das Ohr weiter. Dieses „Stoßweitergabe“ nennt man Schallwelle. Bei der Ausbildung von Schallwellen kommt es zur Luftverdichtungen und Luftverdünnungen. Die Luftteilchen schwingen bei der Schallübertragung nur längs des Schallweges, deshalb heißt eine Schallwelle auch Longitudinalwelle. Neben der Luft können auch feste Materialien (Holz 5500 m/s, Eisen 5800 m/s, etc) und Flüssigkeiten (Wasser 1480 m/s) den Schall weiterleiten.

In der Luft beträgt die Schallgeschwindigkeit ca. 340 m/s ( 1000m in 3 s). Der Schall wird unterwegs nicht langsamer. Die Schallgeschwindigkeit steigt jedoch mit der Temperatur etwas an. Bewegt sich ein Körper mit Schallgeschwindigkeit (bei gegebener Temperatur), so spricht man ihm die Geschwindigkeit Mach 1 ( $Ma=1$ ) zu. Mach 2 ist demnach doppelte Schallgeschwindigkeit. Schalldämmung durch Filz, Styropor stört durch eingelagerte Luftbläschen die Ausbreitung des Schalls.

Der Schall kann an festen Wänden reflektiert werden. Dabei ist der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel (Schallreflexion). Nicht ohne Grund haben wir zwei Ohren. Schräg eintreffende Schallwellen erreichen das eine Ohr nämlich etwas später als das andere. Eine Schallverspätung von 1/100.000 Sekunde können wir gerade noch erfassen, das entspricht einer Richtungsabweichung von etwa vier Grad.

Unter Wasser klappt das nicht mehr, denn aufgrund der erhöhten Schallgeschwindigkeit gelingt die Trennung nicht mehr - im Klartext: Taucher können unter Wasser nicht mehr genau sagen, von wo der Schall kommt.

- 1.) Erklären Sie die Ausbreitung des Schalls.
- 2.) Was bedeutet es, wenn ein Delphin 200kHz wahrnimmt?
- 3.) Warum muss man in Räumen nicht so laut sprechen wie im Freien?
- 4.) Wie funktioniert eine „Flüstertüte“?

Unser Ohr empfindet die doppelte Stärke von Luftstößen nicht als doppelte Lautstärke. Der Schall von 100 Pfeifen wird nur als doppelt so laut empfunden wie von 10 Pfeifen. Erst bei 1000 Pfeifen empfinden wir dreimal so laut wie 10 Pfeifen. Will man die Lautstärke messen, so dient die Empfindlichkeit des Ohres als Maß. Die Lautstärke wird in Dezibel (dB) angegeben. Folgende Beispiele:

0 dB = Hörschwelle

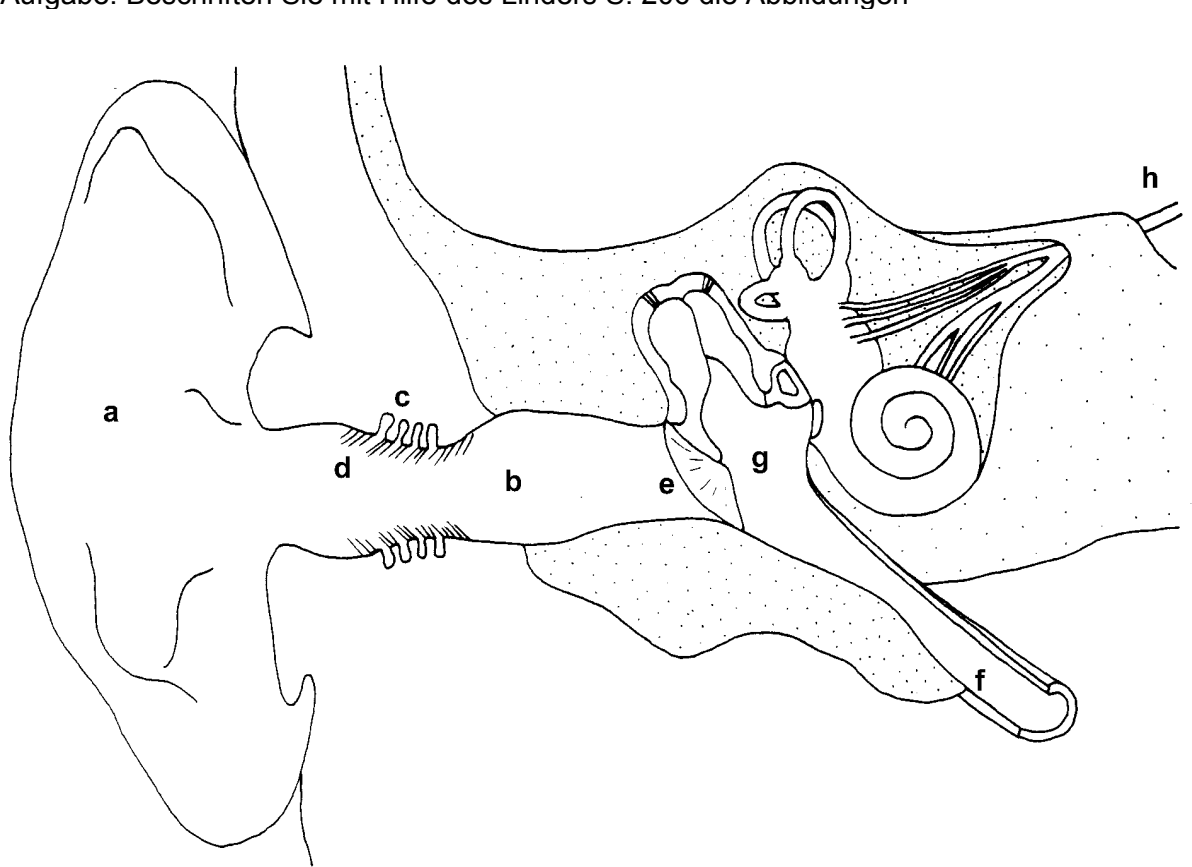
- 10 dB = Sehr leises Blätterrascheln
- 30 dB = Schwacher Straßenlärm
- 50 dB = Normale Radiomusik
- 70 dB = Starker Verkehrslärm
- 90 dB = Lautes Autohupen
- 110 dB = Stärkster Fabriklärm, bearbeiten von Stahlplatten mit Presslufthammer
- 130 dB = Schmerzschwelle

**Hörempfindungen durch Reizung des Gehörnervs:**

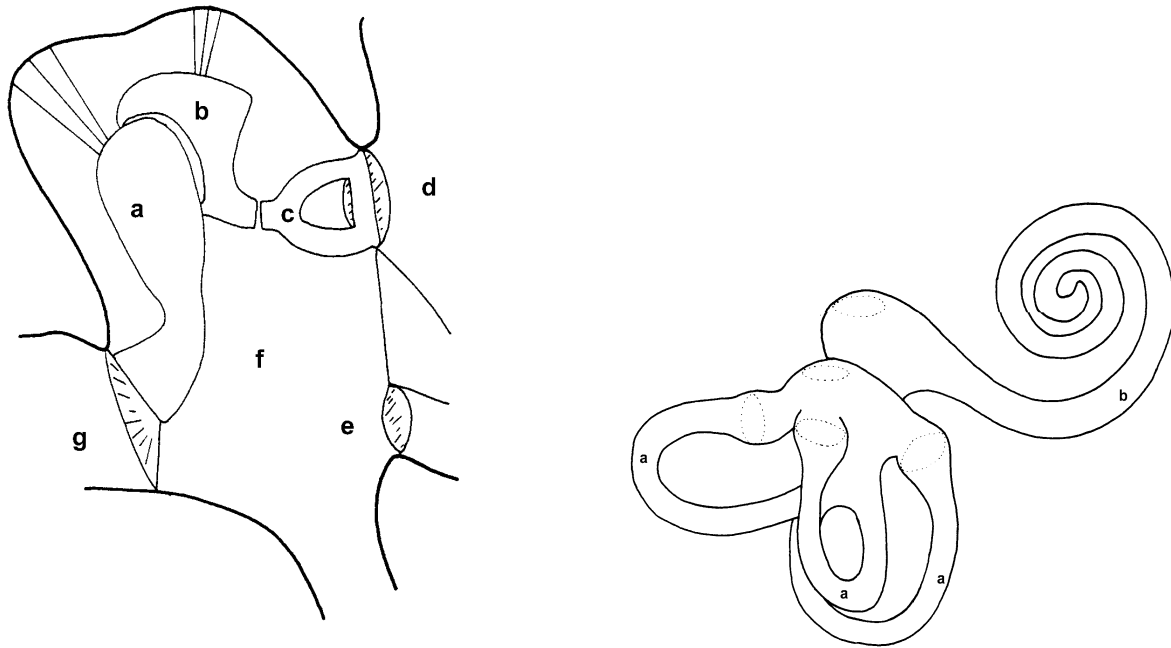
Physikalische Erklärung	Empfindung
Amplitude der Schallwelle groß	Ton laut
Amplitude der Schallwelle klein	Ton leise
Frequenz der Schwingung groß (5000 Hz)	Ton hoch
Frequenz der Schwingung klein (100 Hz)	Ton tief
Einfache harmonische Schwingung	Reiner Ton
Überlagerte Schwingungen aber mit einheitlicher Grundfrequenz	Ton mit Klangbreite
Wild überlagerte Schwingungen	Rascheln
<b>Eine</b> heftige Luftverdichtung und Verdünnung mit hoher Amplitude	Knall

**2.) Biologie des Ohres**

Aufgabe: Beschriften Sie mit Hilfe des Linders S. 206 die Abbildungen



Begriffe: Schmalzdrüsen, Paukenhöhle, Härchen, Gehörgang, Hörnerv zum Gehirn, Trommelfell, Ohrtrompete (Eustachische Röhre), Ohrmuschel



Sir William Strutt hat schon 1876 das Richtungshörvermögen untersucht: als "Blinde Kuh" auf dem Rasen vor der Universität in Cambridge und mit stimmgabelschlagenden Assistenten. Was er herausfand, können Sie auch selbst überprüfen: Töne, die exakt von vorne oder hinten kommen, sind nicht zu lokalisieren. Und tiefe Töne sind schwieriger zu orten waren als hohe.

Die Form unserer Ohrmuscheln erlaubt uns überdies auch noch eine Höheninformation. Ein Wunder der Natur, denn eigentlich bräuchte man ein drittes Ohr, um ein Objekt im Raum präzise auszumachen. Vollständig gelüftet ist das Geheimnis noch nicht, aber es hängt ganz wesentlich mit der Form unserer Ohrmuschel zusammen. Sie ist so gebaut, dass einer ins Ohr einlaufenden akustischen Welle eine zweite und mitunter sogar eine dritte folgt, hervorgerufen durch unterschiedliche Laufwege in der Ohrmuschel. Unsere Ohren hören also alles doppelt und dreifach, ohne dass wir es merken. Aber aus Größe und zeitlichem Abstand der zweiten und dritten Welle kann unser Gehirn offenbar die Richtung ermitteln, aus der der Schall kommt.

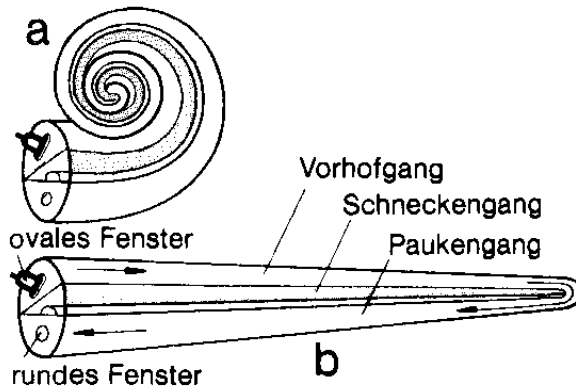
**Das Außenohr:** Die Schallwellen erreichen das Ohr über die schallsammelnde Ohrmuschel, gelangen dann in den trichterförmigen Gehörgang und erreichen schließlich das winzige Trommelfell. Diese Membran gerät in Schwingungen.

**Das Mittelohr:** Hinter dem Trommelfell sitzen die Gehörknöchelchen: Hammer, Amboss und Steigbügel: die kleinsten Knochen des Menschen. Die Knochen befinden sich in mit Luft gefüllten Paukenhöhle. Der Hammer tastet die Schwingungen ab, der Amboss leitet sie weiter und der Steigbügel überträgt sie ins Innenohr. Die drei Knöchelchen bilden ein Hebelsystem. Der Druck, den die Schwingungen erzeugen nimmt von 85 mm<sup>2</sup> großen Trommelfell bis zur nur 3,5 mm<sup>2</sup> Membran an der der Steigbügel grenzt, um das 20fache zu.

Dieses **Innenohr** ist im Wesentlichen ein mit einer wässrigen Flüssigkeit gefülltes Labyrinth, die so genannte Gehörschnecke. Der Steigbügel presst diese Flüssigkeit (Perilymphe) über die Membran zusammen, so dass sich eine Wanderwelle in der Schnecke ausbreiten kann. Die Schnecke besteht aus drei Längsgängen:

**Schneckengang:** es handelt sich um die mittlere Röhre. Hier liegt das Hörorgan.  
**Vorhofgang:** Er verläuft über dem Schneckengang.  
**Paukengang:** Er verläuft unter dem Schneckengang.

Der Schneckengang ist mit einem zarten Häutchen ausgekleidet, der Basilarmembran. Eine durch den Steigbügel ausgelöste Wanderwelle erregt die Basilarmembran und die mit ihr verbundenen Haarzellen, die - wenn einmal erregt - einen Nervenimpuls an den Gehörnerv weiterleiten. Einmal gesammelt und weitergeleitet ins Hörzentrum des Gehirn - erklingt dort zum ersten Mal das gehörte Geräusch.



*3. Rollt man das Modell der Schnecke ab, so wird der räumliche Zusammenhang zwischen den Gängen besser erkennbar.*

### 3.) Druckausgleich im Ohr :

Sowie die Steigbügelplatte auf das ovale Fenster drückt, wölbt sich das runde Fenster zum Druckausgleich in die Paukenhöhle vor. Die Ohrlymphe des Innenohrs lässt sich nämlich ebenso wenig zusammenpressen wie Wasser. Der notwendige Druckausgleich in der luftgefüllten Paukenhöhle erfolgt über die Ohrtrompete. Sie ist mit dem Rachenraum verbunden. Kommt es zu einer Schleimhautentzündung im Rachenraum, so schwillt häufig auch die Schleimhaut an, mit der die Ohrtrompete ausgekleidet ist. Die Röhre verengt sich oder schließt sich gar. Ohrdrücken ist die Folge. Bei Druckunterschieden, wie sie im Flugzeug, beim Fahrstuhlfahren oder beim Tauchen auftreten, wird der Druckausgleich am besten durch Schlucken oder Gähnen hergestellt. Beim Schlucken wird Luft in die Ohrtrompete gepresst, beim Gähnen öffnet sie sich und lässt den Druckausgleich zu.

### 4.) Erregungsbildung im Innenohr

Die Schwingungen des ovalen Fensters übertragen sich auf die Flüssigkeit des Vorhofgangs und des Paukengangs. Die schwingende Ohrlymphe versetzt auch die wie Membranen ausgespannten Ober- und Unterseiten der häutigen Schnecke in Schwingung. Auf der unteren Membran, der Grundmembran, sitzen Hörsinneszellen, die mit ihren Sinneshärchen in eine Deckplatte hineinragen. Kommen die Membranen der häutigen Schnecke durch Schwingungen der Ohrlymphe selbst ins Schwingen, so verändern Grundmembran und die Deckplatte ihre Lage zueinander. Die Sinneshärchen verbiegen sich. Dieser mechanische Reiz führt dazu, dass die Sinneszellen erregt werden.

**Tonhöhe.** Der Unterschied zwischen hohen und tiefen Tönen besteht in der Zahl der Schwingungen pro Sekunde. Die hohen Töne werden im vorderen Teil der Schnecke, die tiefen Töne weiter hinten registriert. Das hängt damit zusammen, dass die hohen Frequenzen durch die verhältnismäßig schlaff aufgehängte Grundmembran im flüssigkeitserfüllten Innenohr rascher gedämpft werden. Sie kommen also hinten in der Schnecke gar nicht mehr an.

**Schädigung.** Dass eine bestimmte Stelle der Grundmembran, also eine eng umgrenzte Gruppe von Sinneszellen, jeweils einer bestimmten Tonhöhe zugeordnet ist, lässt sich nachweisen: Bei Menschen, die längere Zeit übermäßigem Schall einer bestimmten Frequenz ausgesetzt waren, fällt eine ganz bestimmte Gruppe von Sinneszellen aus und stirbt schließlich ab.

## 5.) Verschiedene Arten der Schwerhörigkeit

Schlechtes Hören kann verschiedene Ursachen haben:

- Bei der Schalleitungs-Schwerhörigkeit ist die mechanische Schallübertragung vom Außen- zum Innenohr gestört oder unterbrochen. Ursachen: im Gehörgang, am Trommelfell, im Mittelohr. Therapie: u.U. Mittelohroperation
- Bei der Schallempfindungsschwerhörigkeit können die Sinneszellen im Innenohr die Schallwellen nicht empfangen oder sie nicht ins Gehirn weiterleiten. Ursachen: Infektion, Verletzung, Lärm, Medikamente, Menièrsche Erkrankung, Alterungsprozesse.
- Die zentrale Schwerhörigkeit ist bedingt durch Erkrankungen des Hörnervs oder des Gehirns.

Gemischte Formen sind ebenfalls möglich. Auch Tumore im allen Bereichen des Ohrs können eine Schwerhörigkeit verursachen.

### Aufgaben:

- 1.) Erklären Sie die Weiterleitung des Schall im Ohr und die Erregungsleitung im Ohr.
- 2.) Warum kann man bei einer Erkältung schlecht hören?
- 3.) Was passiert, wenn das Ohr längere Zeit einem starken Schall ausgesetzt wird?

### Versuche:

- 1.) Messen Sie die Lautstärke alltäglicher Situationen (Lautstärke im Klassenraum, auf der Strasse, in einem leeren Klassenraum) mit dem Schallmessgerät.
- 2.) Vollziehen Sie den Versuch von Strutt mit der Stimmgabel nach.
- 3.) Ermitteln Sie mit dem Schallgenerator Ihre Hörschwelle.
- 4.) Testen Sie ihre Konzentrationsfähigkeit a) in Ruhe und b) bei erhöhter Lautstärke an folgendem Text. Kontrollieren den folgenden Text auf Fehler. Sie haben nur 30 Sekunden Zeit. Vergleichen Sie hinterher die Anzahl der Fehler.

Wer von Westen nach Osten reist gewinnt bei jeder Überquerung der internationalen Datumsgrenze im Pazifik einen Tag. Erreicht man die Datumsgrenze also Dienstag um 10 Uhr morgens, so ist es für Sie unmittelbar nach Überschreiten dieser Linie Montag um 10 Uhr morgens. Bei einem Flug um die Erde, der vierundzwanzig Stunden dauert, wird die Zeitgewinn durch die verbrauchte Reisezeit aufgezehrt. Bald aber könnten es Überschallmaschinen geben, die es in zwölf Stunden und um den Globus schaffen. Dann wäre es in einer 24-Stunden-Periode möglich, zweimal um die Welt zu fliegen und die Datumsgrenze zweimal zu überqueren. Da man zwei Tage einspart und einen Tag für den Flug braucht, gewinnt man einen Tag. Wie viele Tage

würde man gewinnen, wenn man mit einer solchen Geschwindigkeit zehn Tage lang in östlicher Richtung um die Erde kreise?