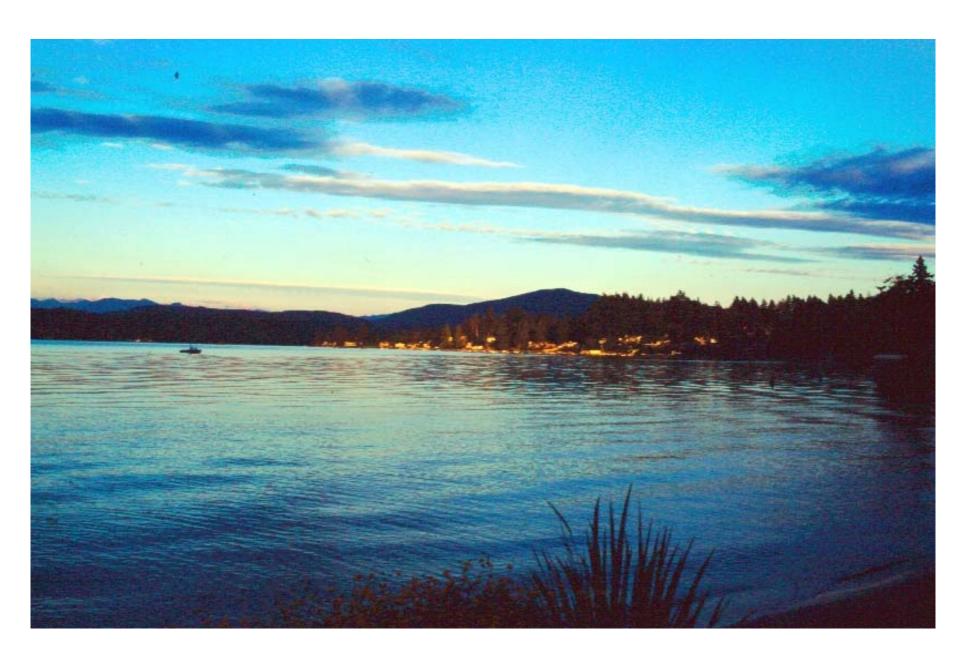
Allgemeine Psychologie: Auditive Wahrnehmung Sommersemester 2008

Thomas Schmidt

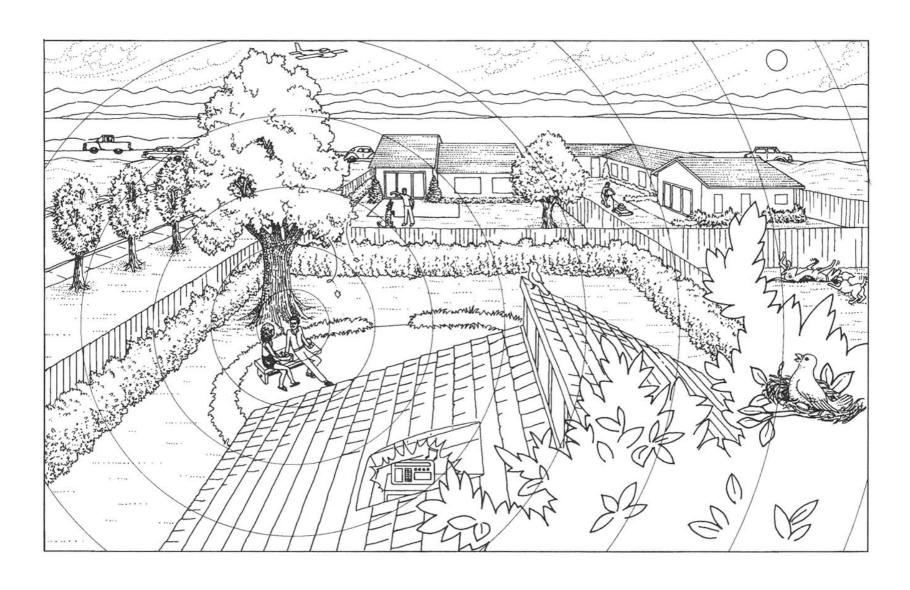
Folien: http://www.allpsych.uni-giessen.de/thomas

Literatur

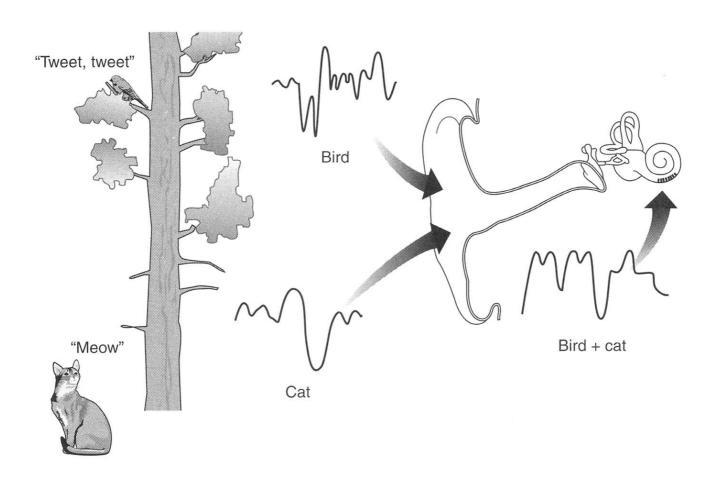
· Rosenzweig et al. (2005), Ch. 9



Die Hörwelt



Auditorische Gruppierung



Verschiedene Töne vermischen sich zunächst im Ohr und müssen dann später wieder in ihre Komponenten zerlegt werden

Schall

- Schall: Schwankungen des Luftdrucks im hörbaren Frequenzbereich
- Schalldruck: Kraft pro Fläche in Mikropascal (1 μ Pa = 1/1.000.000 N/m²)
- · Kleinste wahrnehmbare Änderung des Schalldrucks: ca. 20 µPa.
- · Schmerzgrenze: ca. 100 Mio. µPa.
- · Schallgeschwindigkeit in Luft: 344 m/s
- Schallgeschwindigkeit in Salzwasser: 1500 m/s

Schalldruck in Dezibel

- Um die in der Psychoakustik auftretenden Schalldruckwerte zwischen 20 und 10⁸ µPa bequemer darstellen zu können, benutzt man meist eine logarithmische Darstellung relativer Schalldruckwerte.
- Der Schalldruck wird dazu auf einen Bezugswert relativiert und der daraus hervorgehende Quotient logarithmiert:

$$L(p) = 20 \log (p/p_0) = 20 \log (p / 20 \mu Pa)$$

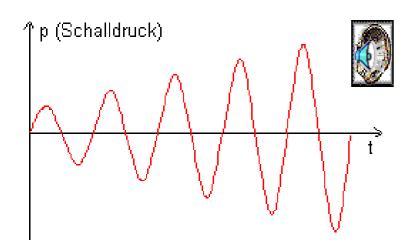
- Diese Größe heißt Dezibel (dB). Sie ist die Maßeinheit des Schalldruckpegels (sound pressure level, SPL).
- Jede Zunahme um 6 dB entspricht einer Verdopplung des Schalldrucks: L + 6 \approx 20 log (p/p₀) + 20 log(2) = 20 log (2p/p₀)

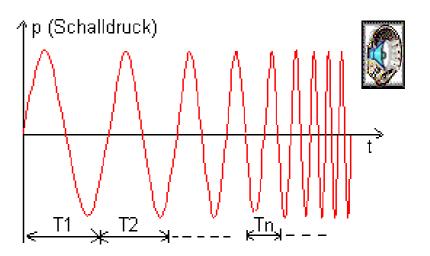
db-Werte einiger Schallereignisse

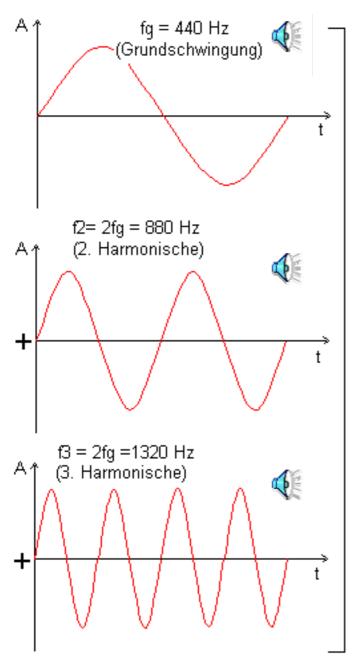
Tabelle 10.2 Die Lautstärken einiger im Alltag vorkommender Geräusche

Schalldruckpegel (dB)	
0	motorhead
20	
40	
60	
80	1888
100	
120	
140	
180	No sleep 'til Hammersmith 2-CD Complete Edition
	0 20 40 60 80 100 120

- Amplitude bestimmt die wahrgenommene Lautstärke
- Frequenz bestimmt die wahrgenommene Tonhöhe





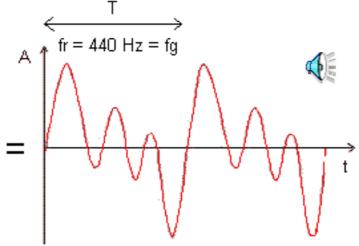


Obertöne (harmonics)

resultierende Schwingung =

Grundschwingung +

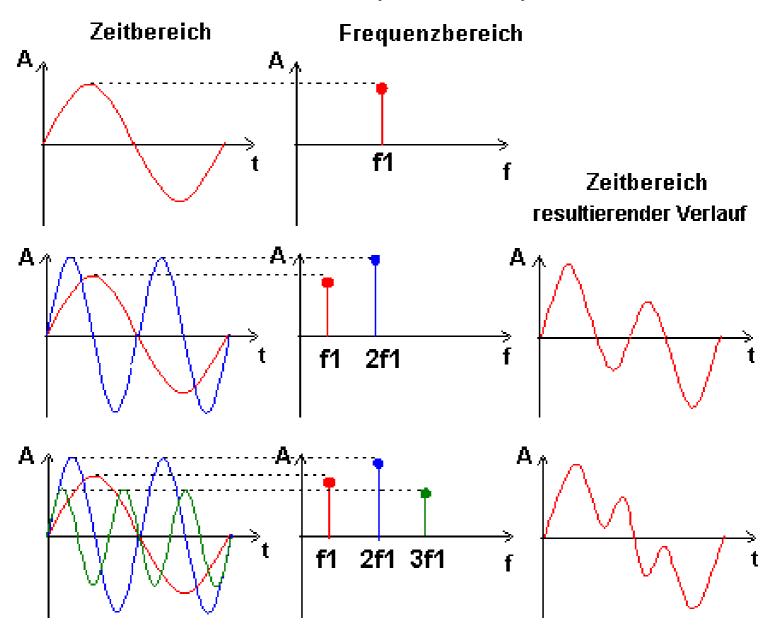
- 2. Harmonische +
- 3. Harmonische



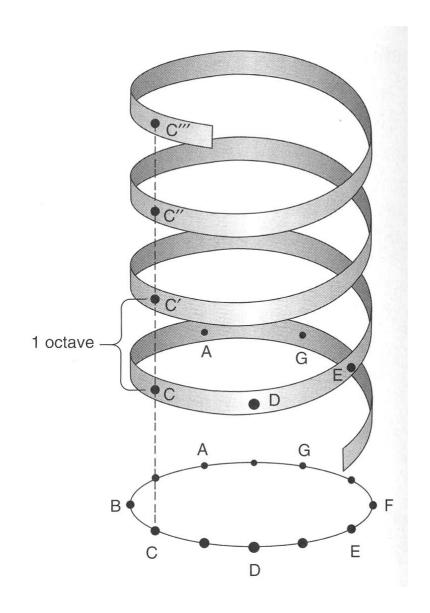
Reine Töne: einfache Sinusschwingungen Obertöne: ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz

Klänge: überlagerte Sinusschwingungen Geräusche: unorganisierte Schallereignisse

Fourieranalyse/-synthese



Oktavenskala (nach Shepard)



Wenn man die Noten der Tonleiter auf einer aufsteigenden Spirale abbildet, kann man die Wahrnehmung der Tonhöhe in der Musik und der Ähnlichkeit oktavverwandter Töne graphisch darstellen.

Eine Oktave entspricht einer Verdopplung der Frequenz.

Schall und Wahrnehmung

Lautstärke

- Bei konstanter Frequenz nimmt die Lautstärke mit der Amplitude eines Tons zu

Tonhöhe

- Niedrige Frequenzen werden als tiefer wahrgenommen als hohe

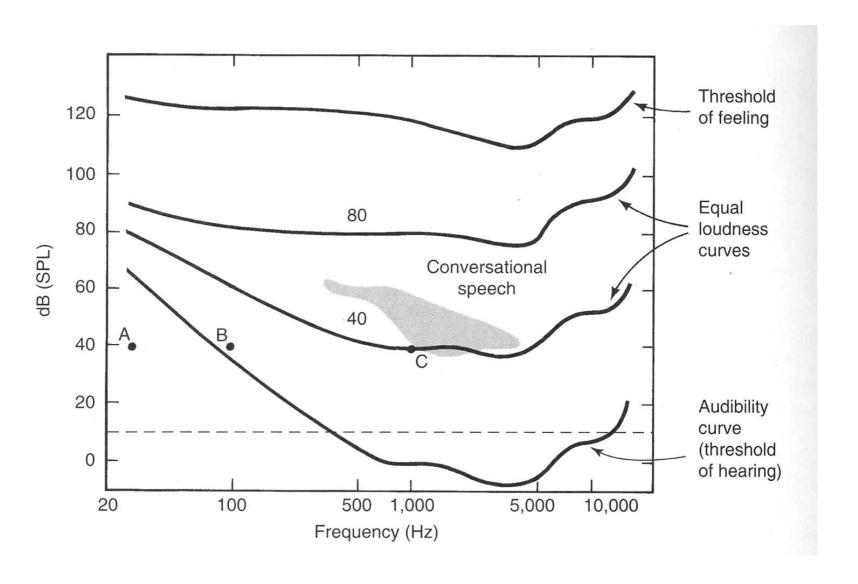
Lokalisation

 Durch die Auswertung der Unterschiede im linken und rechten Ohr lässt sich feststellen, von welcher Stelle im Raum ein Ton kommt

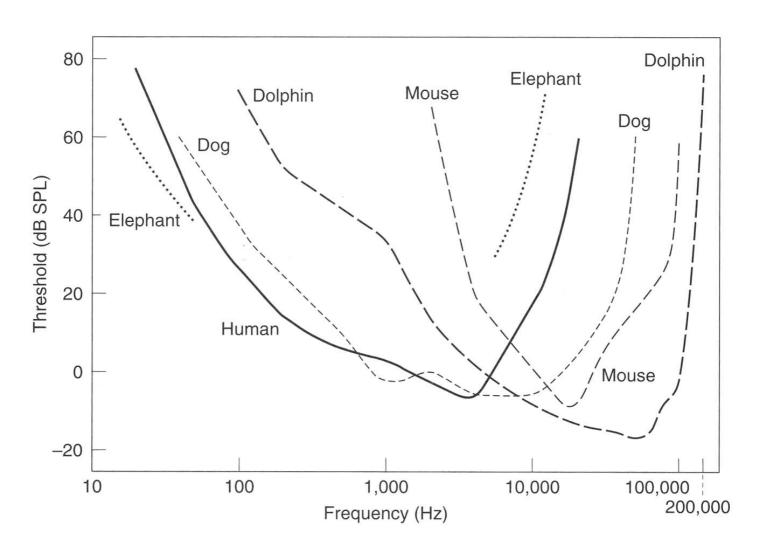
Klangfarbe

 Komplexe Töne klingen oft (bei verschiedenen Instrumenten) unterschiedlich, auch wenn sie die gleiche Tonhöhe haben. Die Klangfarbe hängt vom Mischungsverhältnis der Obertöne ab.

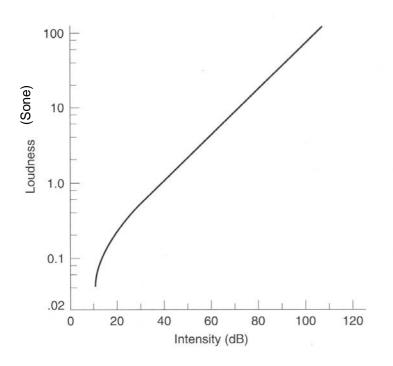
Kurven gleicher Lautheit



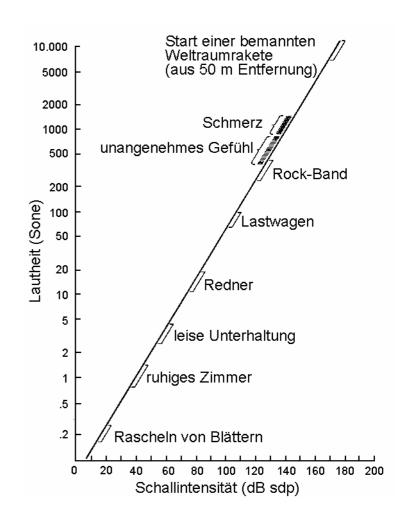
Was andere Tiere hören



Wahrgenommene Lautheit wird in "Sone" gemessen



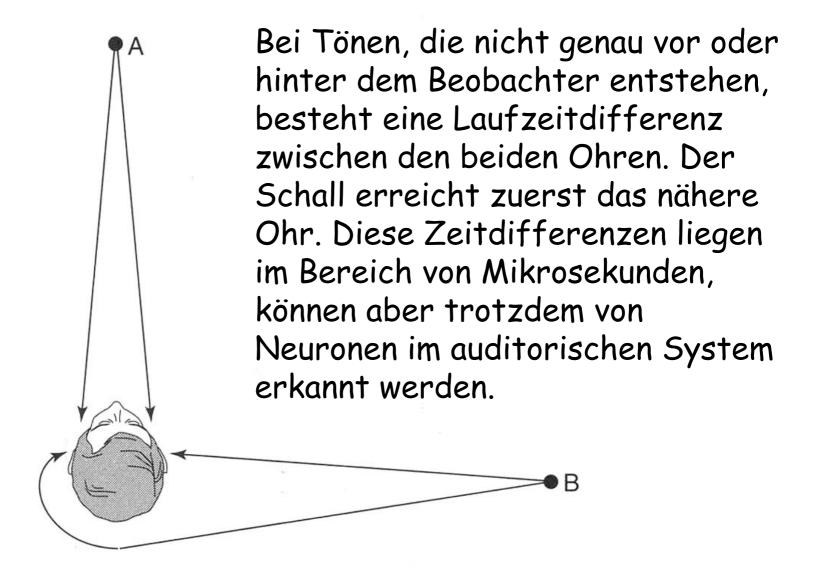
Eine Erhöhung des Schalldruckpegels um ca. 10 dB führt zu einer Verdoppelung der wahrgenommenen Lautheit



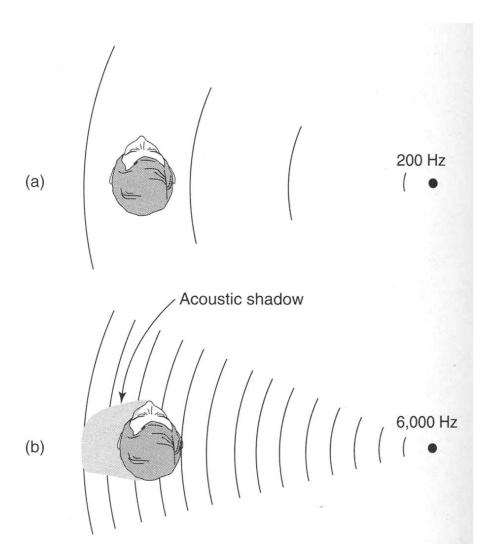
Richtungshören



Interaurale Zeitdifferenz

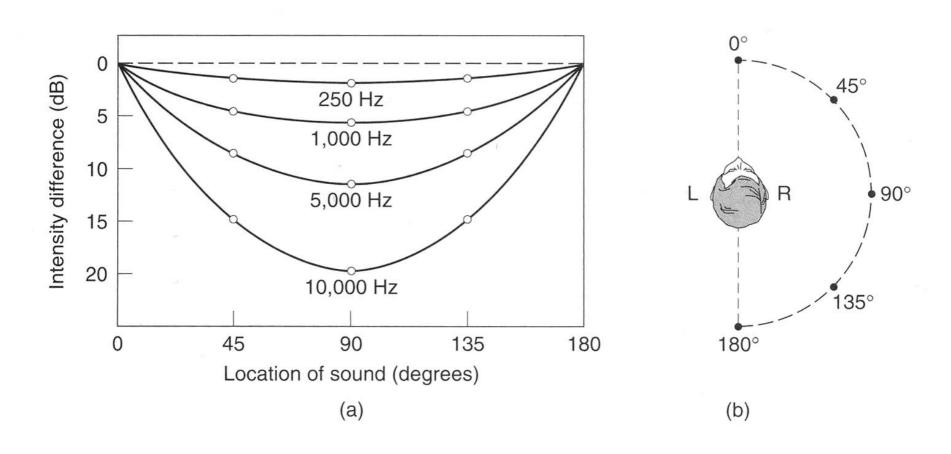


Der Hörschatten

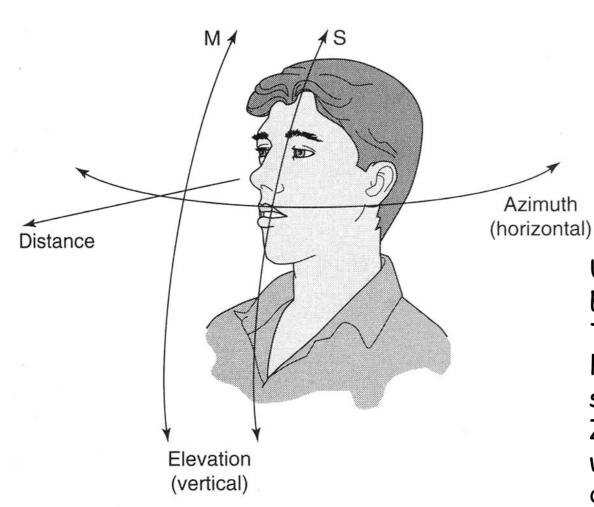


Hochfrequente Töne von der dem Ohr entfernten Seite fallen in einen Hörschatten. Der Pegel dieser Töne wird abgeschwächt. Tiefe Frequenzen sind davon nicht betroffen, deshalb kann man sie schwer orten.

Interaurale Pegeldifferenz

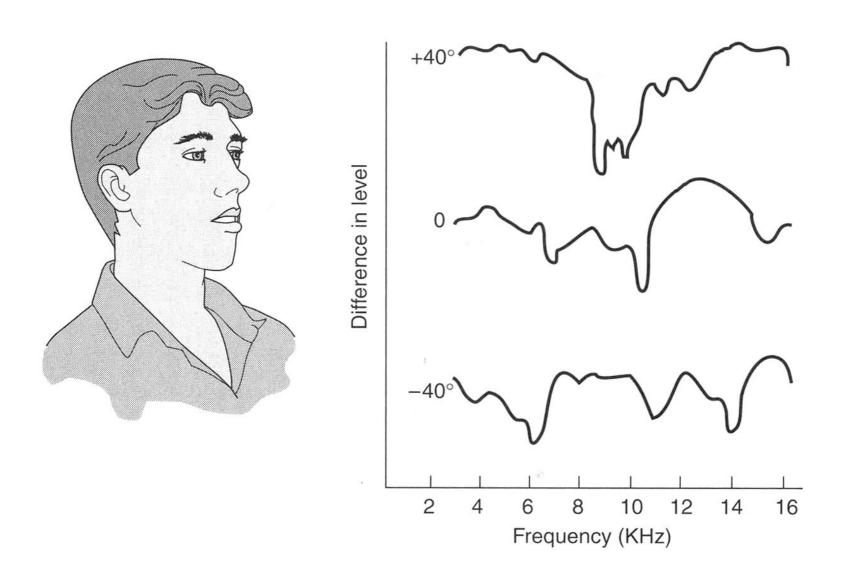


Vertikale Lokalisation



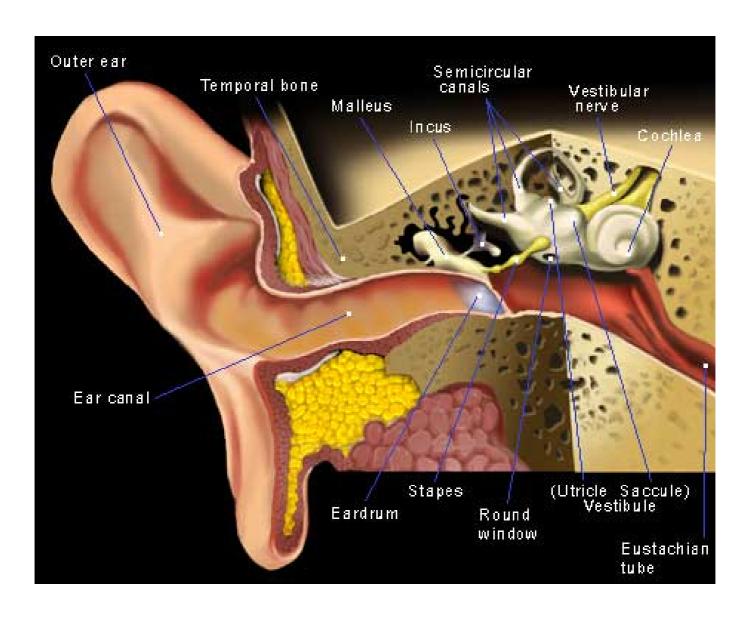
Unterschiede in der Elevation einer Tonquelle führen zu leicht unterschiedlichen spektralen Zusammensetzungen, weil sich der Schall an der Ohrmuschel unterschiedlich bricht

Schallbrechung in der Hörmuschel

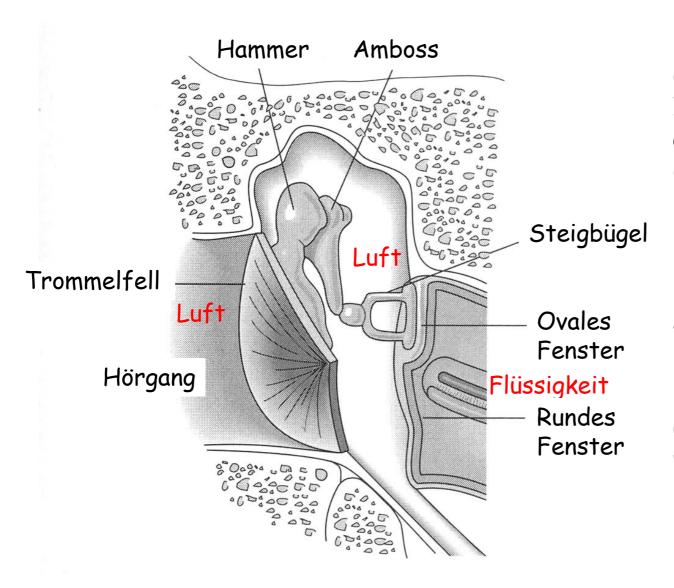




Das menschliche Ohr



Das Mittelohr

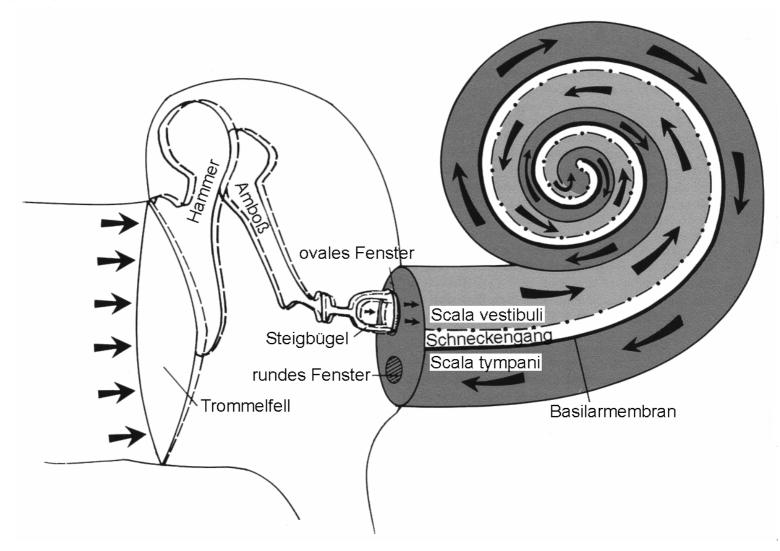


Die drei Gehörknöchelchen übertragen die Vibrationen des Trommelfells auf das ovale Fenster des Innenohrs (von Luft auf Wasser in der Cochlea)

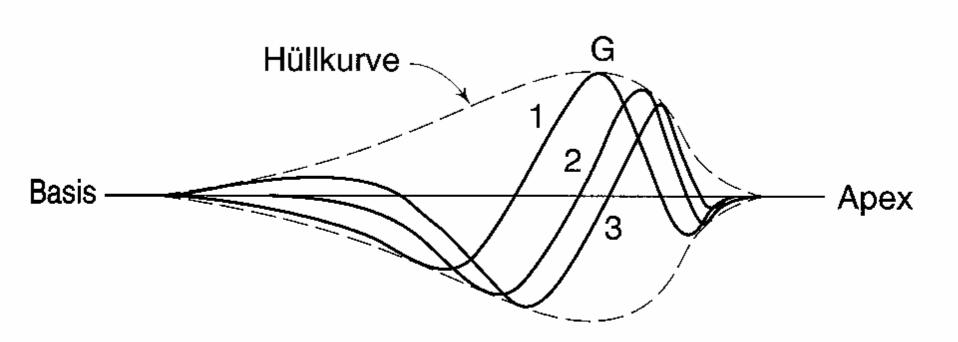
Dabei wird der Schalldruck um einen Faktor von 20-50 verstärkt

Wenn laute Geräusche antizipiert werden können, können Muskeln die Schallleitung reduzieren

Druckausbreitung im Innenohr



Schwingung der Basilarmembran

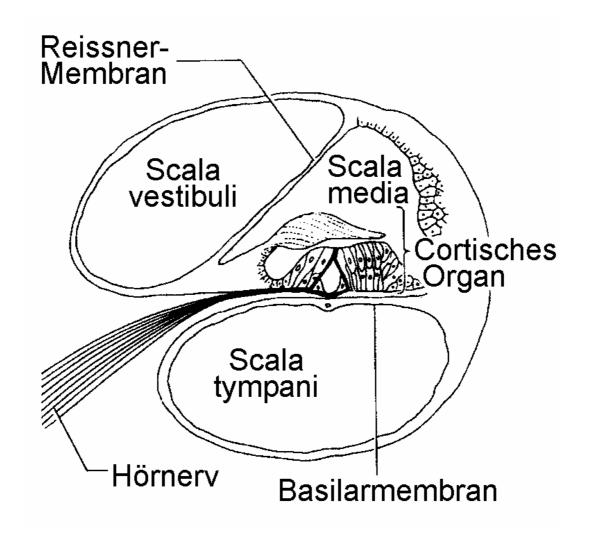


"Unrolling" of cochlea (a) High frequencies Low frequencies displace basilar displace basilar membrane in membrane in base of cochlea apex of cochlea. Direction of sound movement "Unrolled" cochlea Cochlear base Cochlear apex Basilar membrane 1600 Hz 400 Hz 200 Hz Relative amplitude 100 Hz of movement (µm) 50 Hz 25 Hz Distance from stapes (mm)

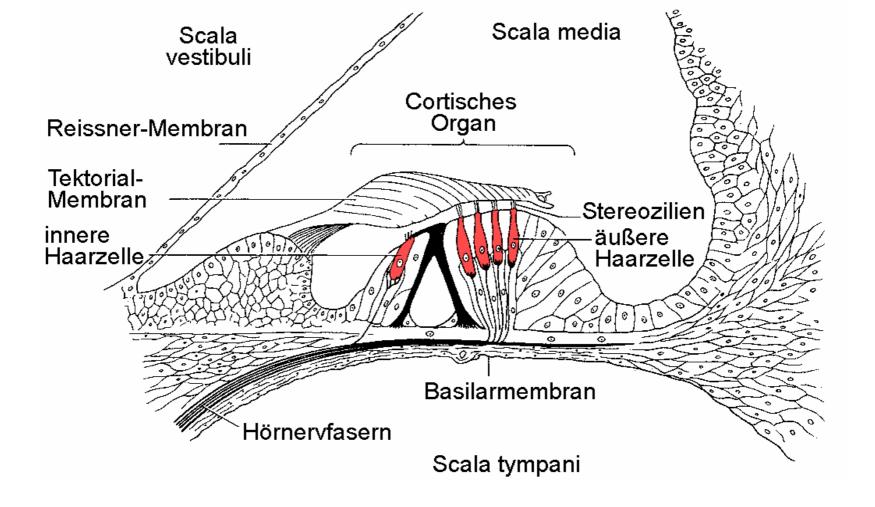
Ortstheorie der Frequenz-Codierung

- Die Basilarmembran ist nicht überall gleich steif.
- Der Ort, an dem die **Basilarmembran** am stärksten ausgelenkt wird, ist spezifisch für jede Frequenz. (Dort liegt das Maximum der Hüllkurve.)
- Die Auslenkung der Membran erregt Sinnesrezeptoren, die Haarzellen

Die Cochlea



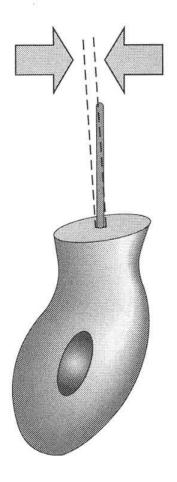
Auf der Basilarmembran liegt das Cortische Organ, das die Rezeptoren für die auditive Wahrnehmung enthält.

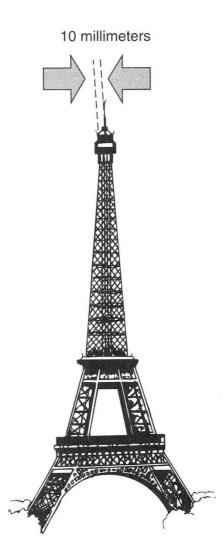


Rezeptorzellen: innere und äußere Haarzellen

Wenn sich eine Wanderwelle entlang der Basilarmembran ausbreitet, wird diese relativ zum Cortischen Organ bewegt. Diese relative Bewegung verbiegt die inneren Haarzellen, was wiederum eine Erregung der Rezeptoren erzeugt.

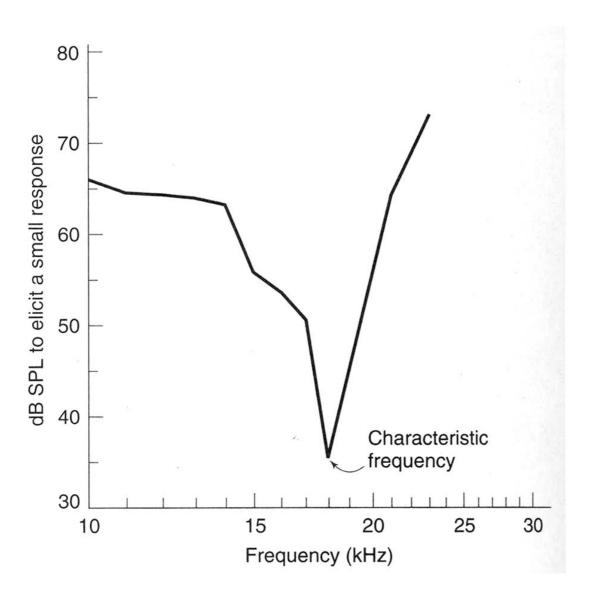
100 picometers





Die Empfindlichkeit der Haarzellen ist enorm. Stellt man sich eine Haarzelle von der Größe des Eiffelturms vor, dann reicht eine Verschiebung der Stereozilien um 10 Millimeter zur Wahrnehmung. Leider können die Haarzellen auch leicht beschädigt werden, z.B. durch Dauerlärm oder einen plötzlichen Knall.

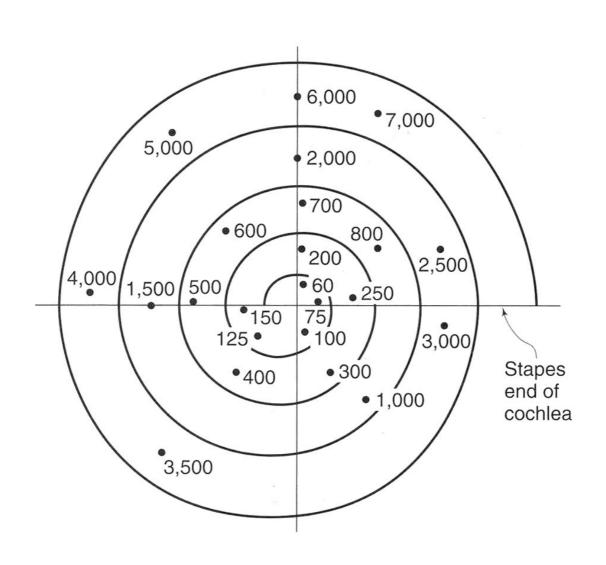
Frequenzspezialisierung einer Haarzelle



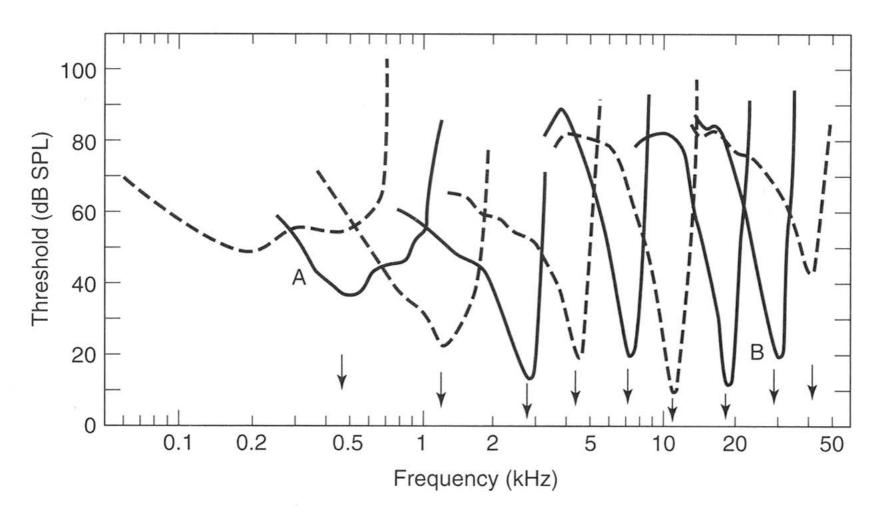
Jede einzelne Haarzelle ist bei einer bestimmten Frequenz am empfindlichsten. Diese wird auch als charakteristische Frequenz der Haarzelle bezeichnet

Die charakteristische Frequenz ist wieder durch den Ort der Haarzelle entlang der Cochlea bestimmt (Ortstheorie der Frequenzcodierung)

Tonotopie in der Cochlea

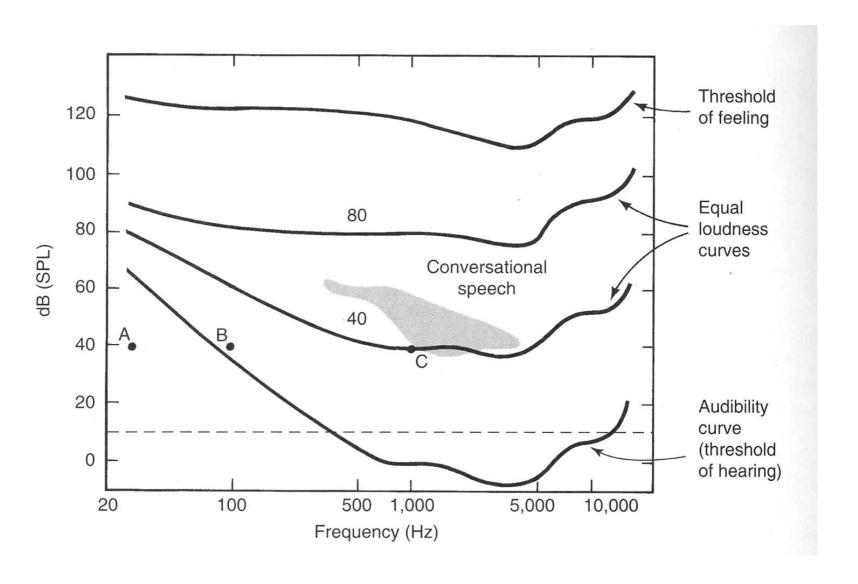


Viele Haarzellen

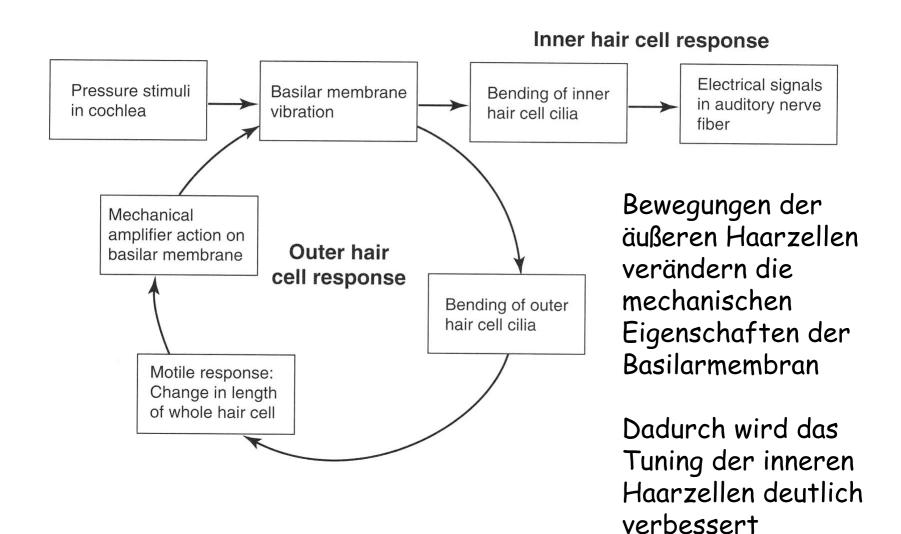


Das Ensemble aller Haarzellen ergibt die gesamte Empfindlichkeitskurve.

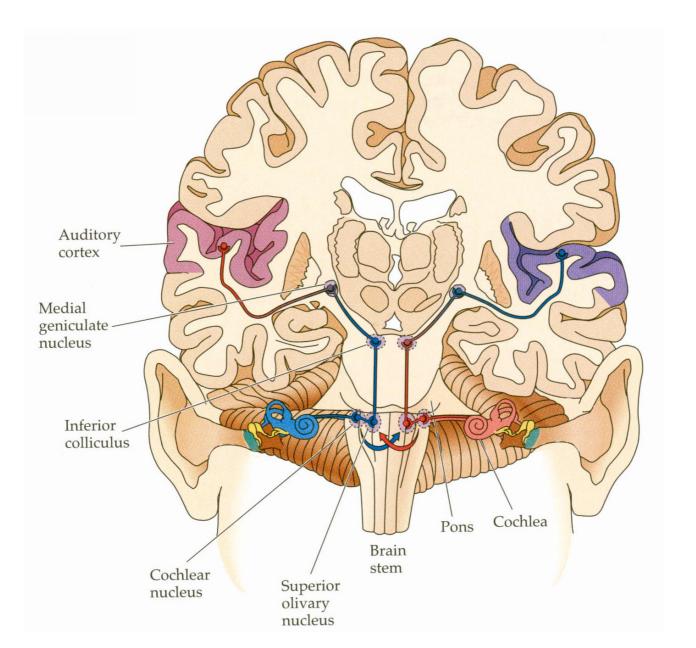
Kurven gleicher Lautheit



Rolle der äußeren Haarzellen



Die auditorischen Bahnen



Tonotopie im Hörsystem

