

XII Mechanorezeptoren I

Propriozeptoren (Selbstrezeptoren): - Presso-Rezeptoren reagieren auf Dehnungsreize (afferente Fasern)
→ Vasomotorzentrum d. Formatio reticularis (kontroll. JF-Stonus)

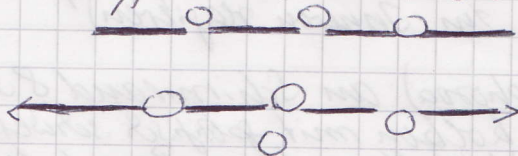
- Sensorische Fasern im Muskelspindel

Rezeptoren äußere mech. Reize

- Tastsinn für Druck, Dehnung ect.
- Sinn für Vibration
- Hörsinn
- Rotationsinn
- Statischer Sinn

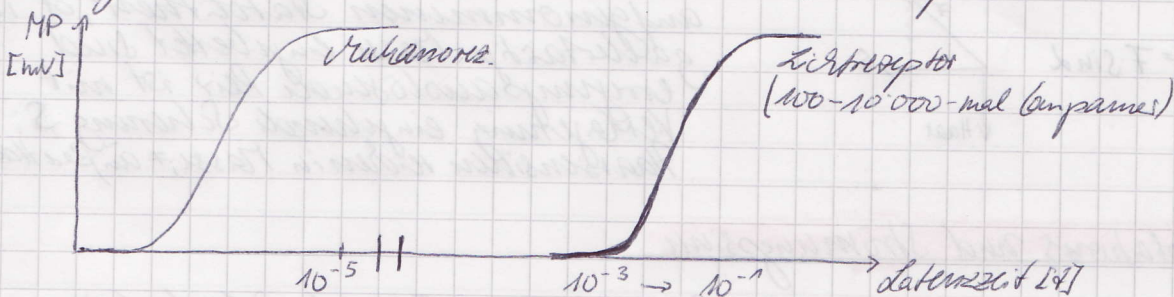
Reizübertragung

... durch Öffnen v. Ionenkanälen durch Dehnung der A-Membran



⇒ da fehlende Latenzzeit ist Modell plausibel: schnelle Reaktionszeit ist für Enzymkaskade zu kurz; \approx eher den dargestellten Veränd. der Membran

Vergleich d. Latenzzeit von Licht- u. Mechanorezeptor



Mechanorezeptoren der Arthropoden

- Unterteilung: - Haare
- Locus (Spalten und campaniform sensillen)

- Haare

- Tasthaare (Art eines einfachen Hebels)
- Trichobotrien (in Gelenken u. besond. dünn; ihnen sind mehrere mechanosensitive Sinneszellen zugeordnet, deren Dendriten mit indirektem Kontakt zur Haarbasis haben.)

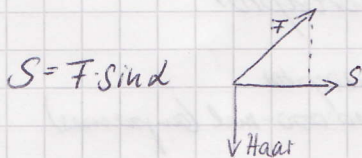
Bsp.: Kohlmeise mit 8 Haaren zur Wahrnehmung des Flügelberührs einer Wespe

- Lochsensillen

- *Sensilla campaniforma* (Insecta): abgeleitet von zurückgebildeten Tasthaare; Sinus kuppel
- Sinnesspalten = L-förmige Organe (Arachnida): durch dünne, nach innen gerichtete Membran verschlossen; je dünner desto schwerer zu verformen

Stabscheitelsinn

- Schwere Sinnesorgan (Biene): Borstenfeld am Thorax- und Abdominalgelenk (Haarsinnespolster) zur Orientierung im Schwerfeld
- Auftriebsstatorgan (Nepidae): am darrenabdom ventral 2 lufthaltige Dämpfzweigen, mit Deckborsten verschlossen (dazwischen Sinneshaare die auf Luftverdrängung im Inneren reagieren)
- Sinneskolben / Peduncul. Scyphozoa: am Schirmrand 8 Sinneskolben mit plätscher schweren Kristallen; die an Basis befindlichen Sinneszellen reagieren auf das des Sinneskolbens zum Schirmrand
- Statolithen (Decapoda): epidermale Einbuchtung im Basalglied d. ersten Antenne mit von außen aufgenommenen Statolithen, die in gallertartige Masse eingebettet sind erregungsauslösende Reiz ist mit Verdrängung einhergehende Schwingung S ; Haarsensillen ragen in Masse; F an Beutemaße



Vibrations- und Strömungssinn

- Subgenalorgane vieler Insekten in Tibia des Vorderbeins
- Vibration über Trichobotrien (Arthropoden) u. Fadenhaare (Insecta).
→ adäquater Reiz vermutlich Beschleunigung v. Luftmolekülen; Trichobotrien d. Skorpion dienen Orientier. nach Windström. Schaben nehmen mit Fadenhaaren Schwache Windstoß wahr.

Gehörsinn

- Skotopidien ⇒ einzelne Sinneszellen (Sensillen) deren Sinnesstift in die sie bedeckende Kapazelle hineinragt; abgeleitet von Haar Sinneszellen
- Johnston'sches Organ (Pterygota): registriert relative Beweg. d. Antennenzeißel gegen Antennenbasis; viele Skotopidien S-D um Grundplatte d. Antennenstifts liegt ⇒ räumlich. Freymarkt
- Tympanalorgane (Insecta): Trommelfell mit Skotopidien; Reiz von Tracheenverengung an Trommelfell

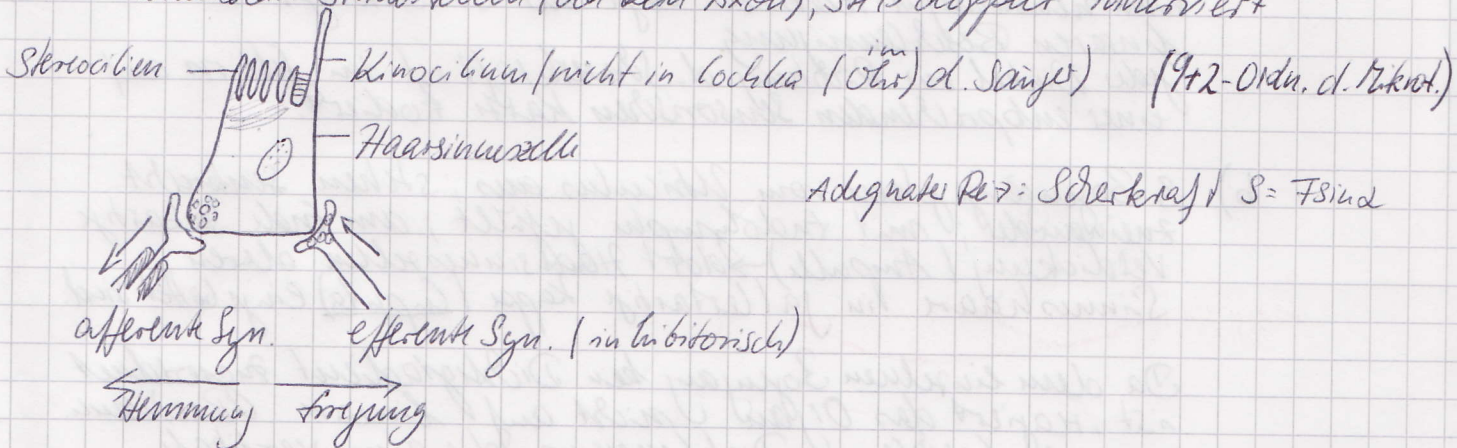
Mechanorezeptoren d. Vertebraten

Der Tastsinn kommt ausschließlich durch die Reizübertragung vom Haar auf Endausläufer sensibler adrenerischer Janghinzellen, deren Zellkörper in den Spinalganglien des dorsalen Wurzel am Rückenmark (bzw. für Kopfmechanorezeptoren in Wurzelganglien d. sensiblen Hirnnerven) liegen.
Entweder enden Zellausläufer dieser Zellen frei im Gewebe d. Epidermis o. sie umspinnen Haar- bzw. Federwurzeln o. führen in Endkörperchen (höhere Vertebraten) in tieferen Hautschichten: marklose Nervenendigung von Hüllzellen umgeben u. mit diesen in Bindgewebekapsel eingeschlossen.

- schnelle Adaptation: Pacini-Körper (Säuget)
- mittelschnelle " : Miesner-Körper (Primaten: Lippe u. Fingerbeere)
Haarfollikel-Rezeptoren
- langsame " : Ruffini-Körper
Merkel-Zelle
Tastscheibe

Haarsinneszelle d. Vertebraten

- für statischen Sinn, Drehsinn, Hören
- sekundäre Sinneszellen (da kein Axon), stets doppelt innerviert



⇒ Ständige Transmitterfreisetzung bewirkt Rezeptorpotential; Störung ändert Membranwiderstand & Ionenstrom auslöst im abhängige von Auslenkungspriorität liegt Feuerfrequenz über o. unter Spontanzfrequenz.

Bei hochfrequenten Drallschwingungen kann Änderung d. Membranpotentials d. Frequenz nicht mehr folgen → Dauerdepolaris.

- wichtig Fkt. im Längrohr, Seitenlinienorgan d. Fische u. H₂O-lebenden Amphibien

- in Ruhe ≈ 15% der Ionenkanäle offen & $E_m = -60mV$; lösen keine AP's aus; sind über chem. Synapsen mit afferenten Neuronen verbunden u. setzen Transmitter auf glühend frei (Jenny best. Frequenz in afferenten Neuronen).

Sekundärhaarzelle

- sek. Sinneszellen (Stereocilien u. ein Kinocilium)
- Kinocilien asym. angeordnet & nicht empfindlich
- Problem Selbst \leftrightarrow Nicht-Selbst: Lös: doppelte Innervierung; inhibit. Synapse 10-20 ms vor Synapseseriale aktiv.
... bei uns über Reafferenzschaltung

Typen des Säugetier-Innenohrs

- Statischer Sinn im Labyrinth (Utriculus u. M. sacculi)
- Drehsinn in den 3 Bogengängen
 - gehört in der Schnecke (Cochlea)

- a) Gleichgewichtsorgan aus 2 knöchernen Kammern mit den 3 Bogengängen (zusammen Labyrinth); im Sacculus u. Utriculus befinden sich Felder mit Haarsinneszellen (Maculae), auf ihnen mineralis. Kristalle (Otolithen) \rightarrow Schwerkraft; mit Endolymphe gefüllt

Im Hohlraum unterhalb d. Bogengänge 3 solche Felder zur Wahrnehmung d. relativen Lage zur Schwerkraft u. linearen Beschleunigung
Jeder Winkel zur Richtung d. Schwerkraft ist im Gehirn auf einer entsprechenden sensorischen Karte kodiert.

- b) 3 Bogengänge gehen vom Utriculus aus; stehen senkrecht zueinander, mit Endolymphe gefüllt; am Ende sackartige Verdickung (Ampulle) \rightarrow dort Haarsinneszellen deren Sinneshaare in gallertartige Kappe (Cupula) eingebettet sind.

Da dem einzelnen Bogengang kein Druckgradient zugeordnet ist, reagiert das Organ nicht auf lineare Beschleunigung, nur auf Beschleunigung, Drehbewegung die um vertikale Mittelachse eines Bogengangs vollführt werden

- in 3 zueinander senkrechten Ebenen, damit 3 Dimensionen des Raumes erfasst werden können

- paarig / jew. Komplement reagiert gegenseitig

- polysynapt. Verdraltung mit Augenmuskeln

- wird Kopf in eine Ebene gedreht, führt Trägheit d. Endolymphatischen Flüssigkeit im entspr. Kanal zur Bewegung der Endolymphe die relativ zur Cupula der Beschleunigungsrichtung entgegengesetzt ist. Bewegung Cupula stimuliert die an ihrer Basis liegenden Haarsinneszellen, deren Sinneshaare darauf hin ändern

526!

Statocysten

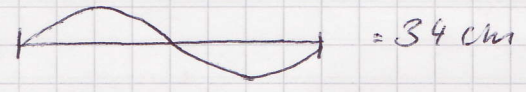
- einfachstes Gleichgewichtsorgan; zur Positionsbestimmung d. Schwerekraft u. Beschleunigungsgrösse
- nicht bei Insekten (ent. dort Propriozeptoren in Gelenken)
- aus Höhlung, die mit Mechanorezeptoren umgeben ist (Beyl-Belt) die mit Statolithen in Verbindung stehen.
Lageveränderung → Statolith drückt auf versch. Bereich d. Statocyste
' löst Fortsätze Entladung d. sensor. Fasern d. Statocyste aus
Hummer: jede Zelle hat max. Feuerfrequenz bei jew. anderer Orientierung des Hummers. (Experiment mit Fischspinnen)

Schall

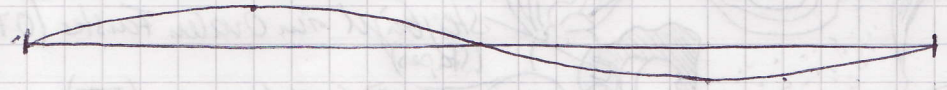
$$c_{Luft} = 331 \pm \left(\sqrt{\frac{T}{273}} \right) \frac{m}{s}$$

$\lambda = c/f$... wird die Frequenz erhöht, wird die λ kleiner

- in Luft bei 1000 Hz



- in Wasser $c_{Wasser} = 1500 \frac{m}{s}$; bei 1000 Hz $\rightarrow \lambda = 150 \text{ cm}$



$$\text{rel. Intensität [dB]} = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0}$$

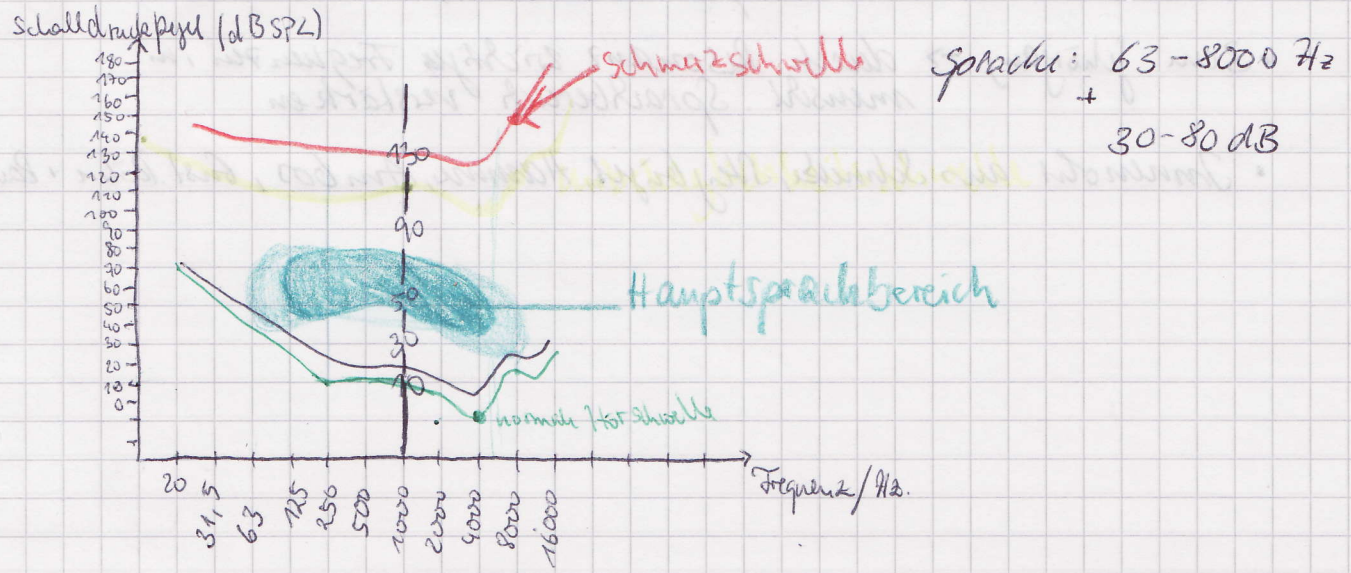
Schalldruck / Ausgangsschalldruck

Hörschwelle: $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ [N/m}^2\text{]} = \text{[Pa]}$

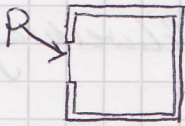
$p \times 10 \rightarrow 20 \text{ dB}$ } logarithmisches Verhältnis zwischen
 $p \times 100 \rightarrow 40 \text{ dB}$ } Empfindung und Reiz

- bei $3 \cdot 4 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ sind wir am empfindlichsten

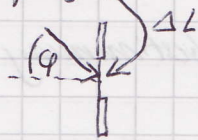
- $c_{Luft} \sim \sqrt{\frac{K}{\rho}}$



Schallempfang



Druck



Druckgradient
(Druckdifferenz)
→ grill

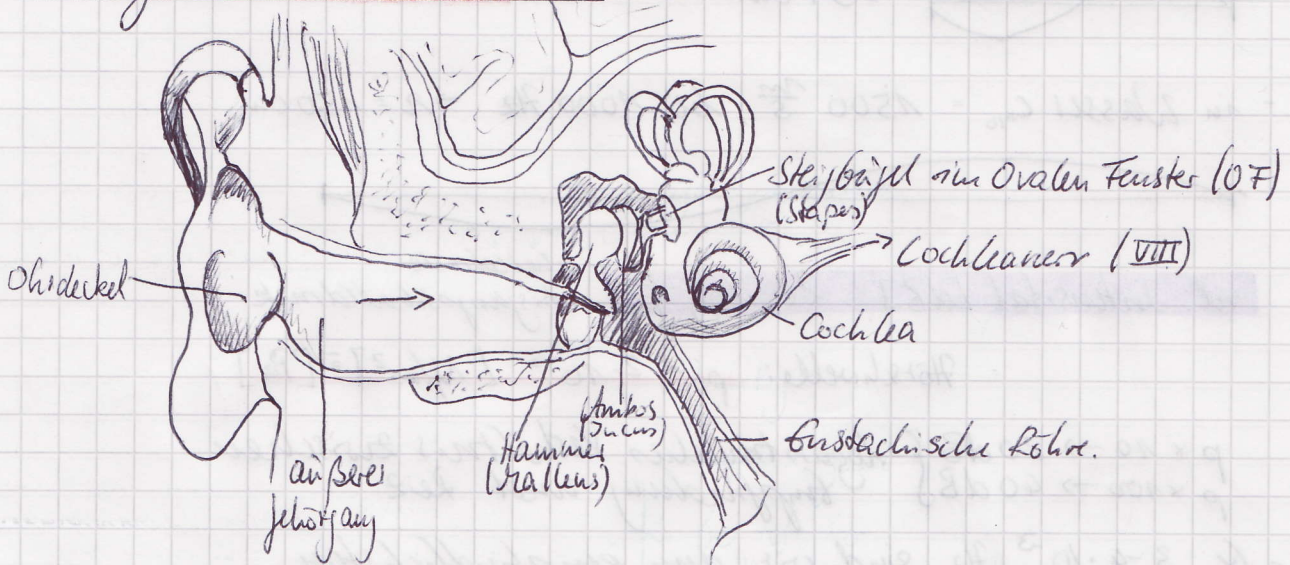


Bewegung
(Schallwelle)
→ Haare

Druckgradient: bei kleinen Tieren immer noch Richtungsabhängigkeit im Schall; Prinzip:

Die Schallaufnehmende Membran (Tympanon) ist beiderseitig zugänglich. Wenn 2 versch. Schallwellen in Phase sind kommt es zu keiner Bewegung; im allgemeinen ist ΔL aber größer u. die Phase ist damit verschieden. über den Phasenunterschied wird der Richtungsunterschied ermittelt.

Aufbau des menschl. Ohrs.



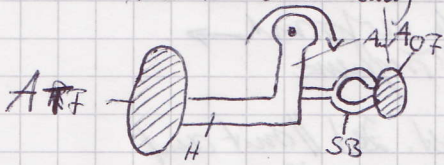
- Schallreflex u. Intropferenz in Ohrmuschel → zur Unterscheidung dessen, was wirklich draussen ist (Koncha)
- 3cm Gehörgang → durch Resonanz wichtige Frequenzen im menschl. Sprachbereich verstärken
- Innenohr aus Schmelze, Steigbügel, Hammer, Amboss, Eust. Röhre + Radrenr.

Außenohr

- z.B. der Vokal "i" hat 2 Formale Frequenzbereiche;
Filterfkt. d. Koncha + Gehörgang \rightarrow best. Frequenzen verstärken
 \downarrow Schalldruck auf Trommelfell

Mittelohr

- mech. Verstärkung



$8 \times$ Resonanz (Ohre dr.)
 $1,3 \times$ verst. Hebelkraft (Mittelohr)
 $17 \times$ Druck pro Fläche (") $A_{TF} \rightarrow A_{OF} (17:1)$
 $180 \times$ Druckverstärkung.

Problem: H_2O -Luft-Grenzfläche an der Schall reflektiert wird

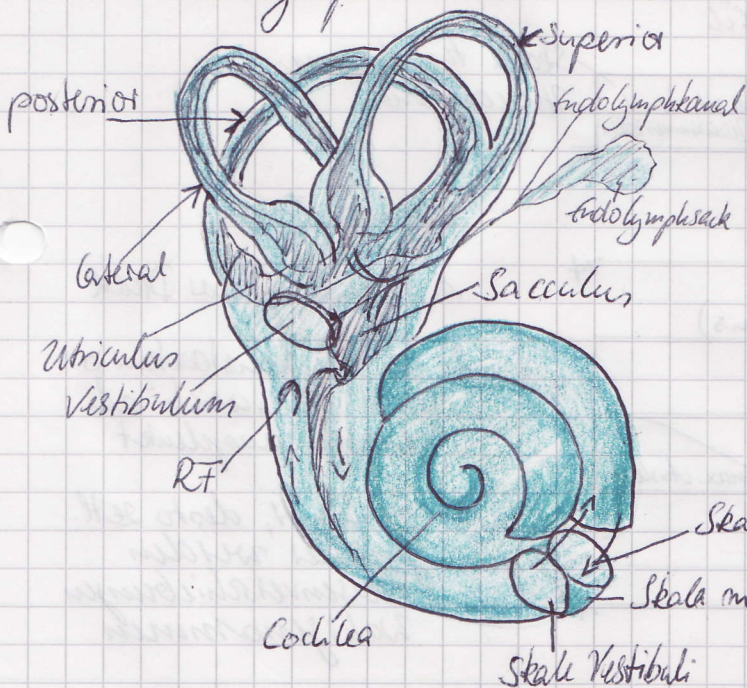
Los. des Impedanzproblems durch 3 kleine, hintereinander angeordnete Gehörknöchelchen:

Hammer ist mit Trommelfell u. Steigbügel mit OF verbunden
 \rightarrow Luftschwingungen so auf die Perilymphe der Cochlea übertragen; auf der anderen Seite des mit Perilymphe gefüllten Raumes liegt das Runde Fenster

\rightarrow Druckaufnahme (180x) ist wirkungsvolle Übertragung von Schallwellen auf Endolymphe der Cochlea (Signalverst. 22x)

Innenohr

- Endolymphe enthält viel K^+ (= pos. Ionen)



Cochlea: die Basilarmembran enthält Cortisches Organ welches die Rezeptorzellen (Haarzellen) enthält; darüber deckt sich die Tectoralmembran

Innere Haar für Reizübertragung zuständig; äußere für Schwingungseigenschaften.

- Nur ≈ 3500 Haarsinneszellen

Wahrnehmung

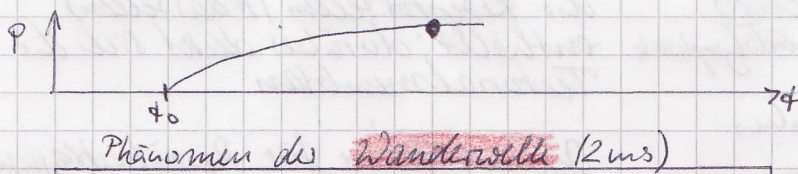
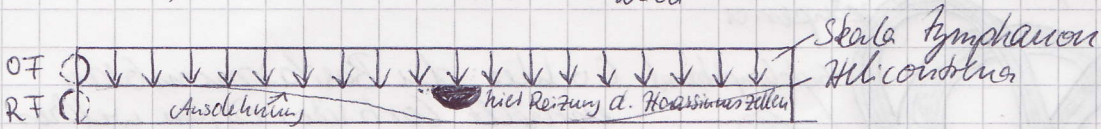
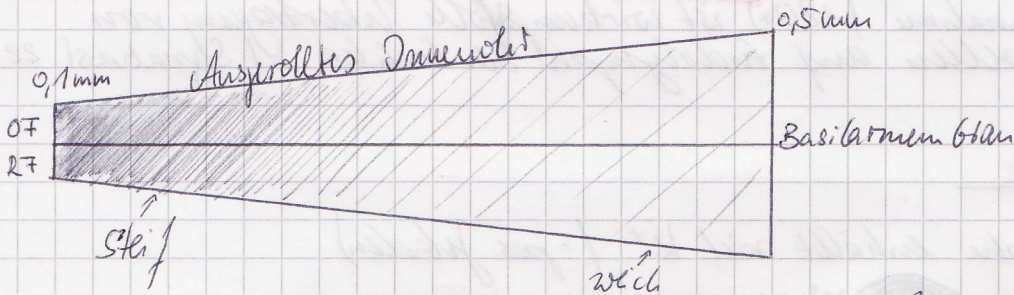
Das mechanische verstärkte Geräusch wird von den Haarzellen des Innenohrs in neuronale Signale umgewandelt, sie befinden sich im Cortischen Organ d. Cochlea u. ähneln den Haarzellen des Seitenliniensystems niedriger Vertebraten (Kinocilium fehlt)

Durch den Ton o.a. nimmt der Druck in der Scala vestibuli zu u. die Scala tympani wird an irgendeiner Stelle verformt →
→ Volumenänderung → Reiz; Stelle = Tonhöhe / Frequenz

Mögl.: Wahrnehmung von verschiedenen Frequenzen in best. Zeit // mit auf jeweilige Frequenz speziell abgestimmten Haarsinneszellen
[in best. Ordnung] //

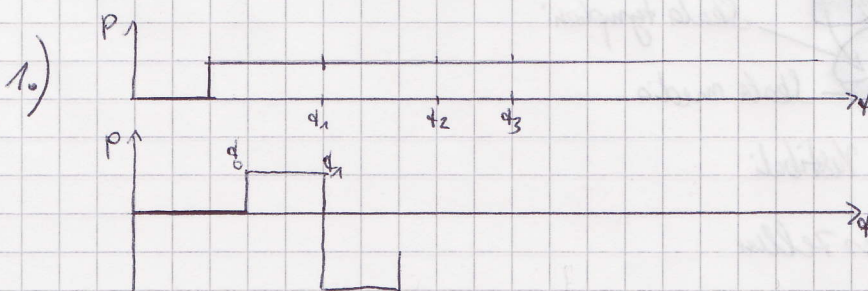
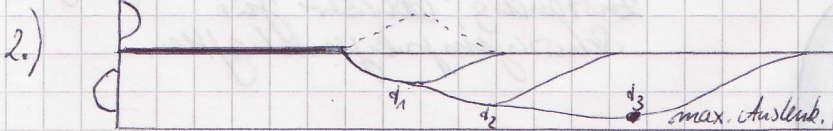
oder - und das konnte belegt werden: im Prinzip ähnlich Mojl. 2, # aber Reizeitungsapparat (Innenohr) braucht bestimmte Frequenzen die auf bestimmte Stelle d. Basilarmembran wirken u. bestimmte Schwingungen dort erzeugen, dazu werden nur ganz best. Haare gereizt.

Die Wanderwelle ist keine Druckwelle!



Wichtig:

1. überall gleicher Druck
2. bei rel. konstantem p wird bei "weich" am weitesten ausgelenkt
3. je Steifer, desto zeitl. genauer werden Phasenverschiebungen wahrgenommen



- tiefe Frequenzen werden nah am Helicotrema abgebildet
- von zeitl. Fkt. auf orth. Fkt. ⇒ Tonotopie Karte
- hohe Töne maskieren tief Töne
- log. Abbildung: erhöhen des f. durch wiederh. Multiplik. mit einem Faktor → additive Verschiebung d. Ortes max. Auslenk. mit jew. gleiches Struktur