

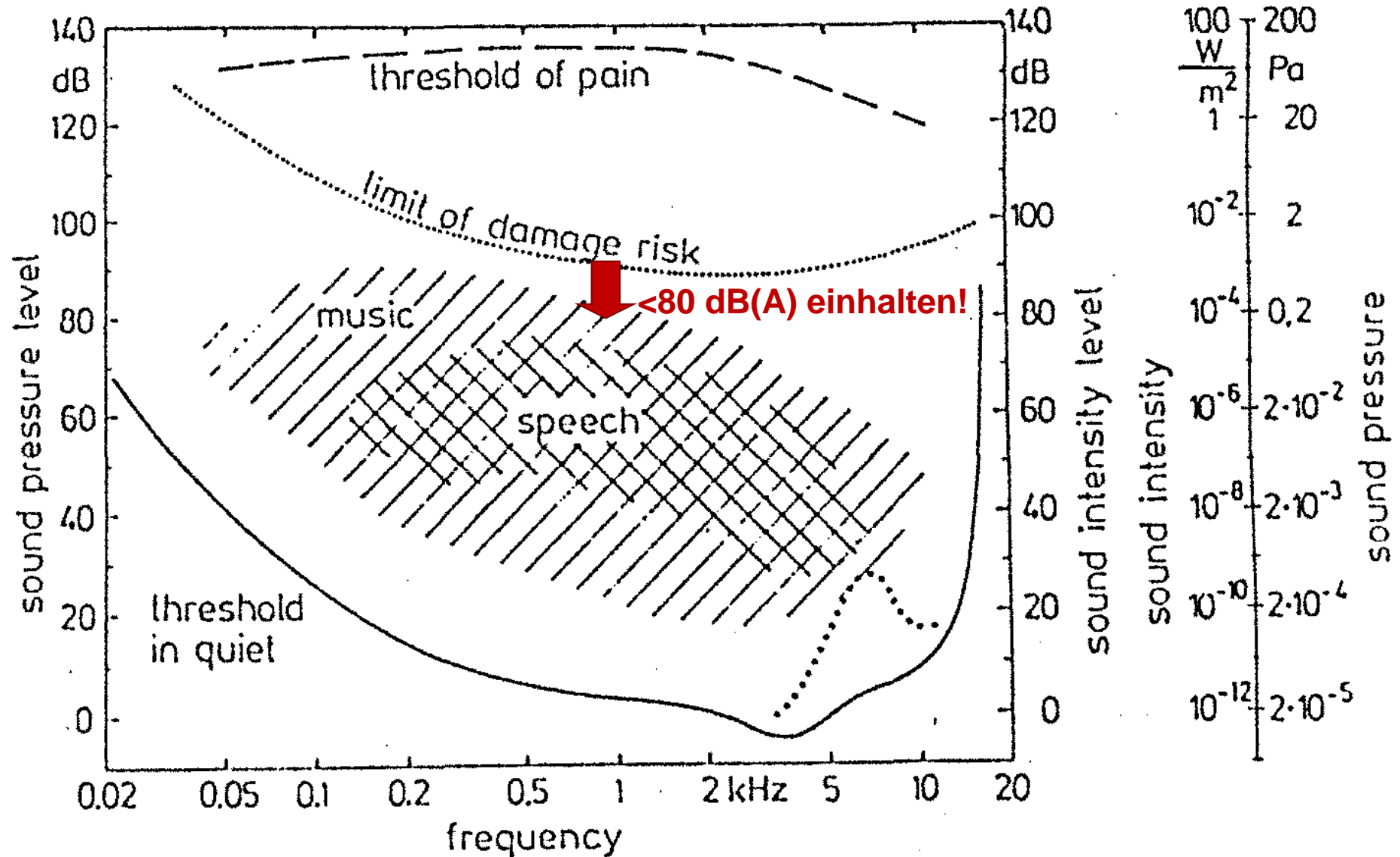


# Neuroprothetik

- 1) Vorstellung Neuroprothesen
- 2) Einführung in die Biologie
- 3) Das Membranpotential
- 4) Spannungsgesteuerte Ionenkanäle
- 5) Die Hodgkin-Huxley-Gleichungen
- 6) Elektrische Stimulation von Neuronen
- 7) Elektrische Stimulation entlang des Axons
- 8) Das Hörorgan**

## Lernziele:

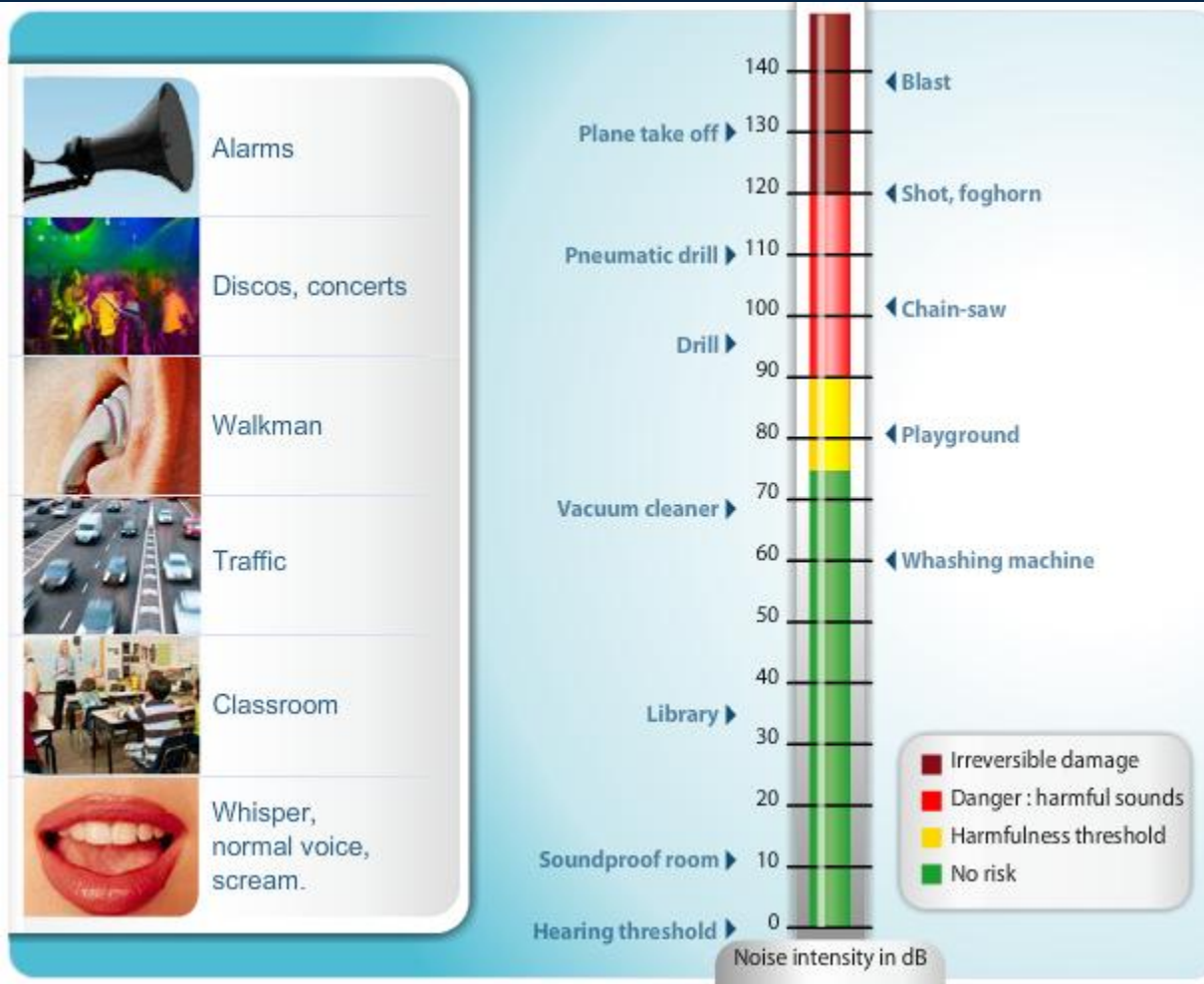
- Grundlagen der Akustik
- Kodierung von Schall im Innenohr





# B

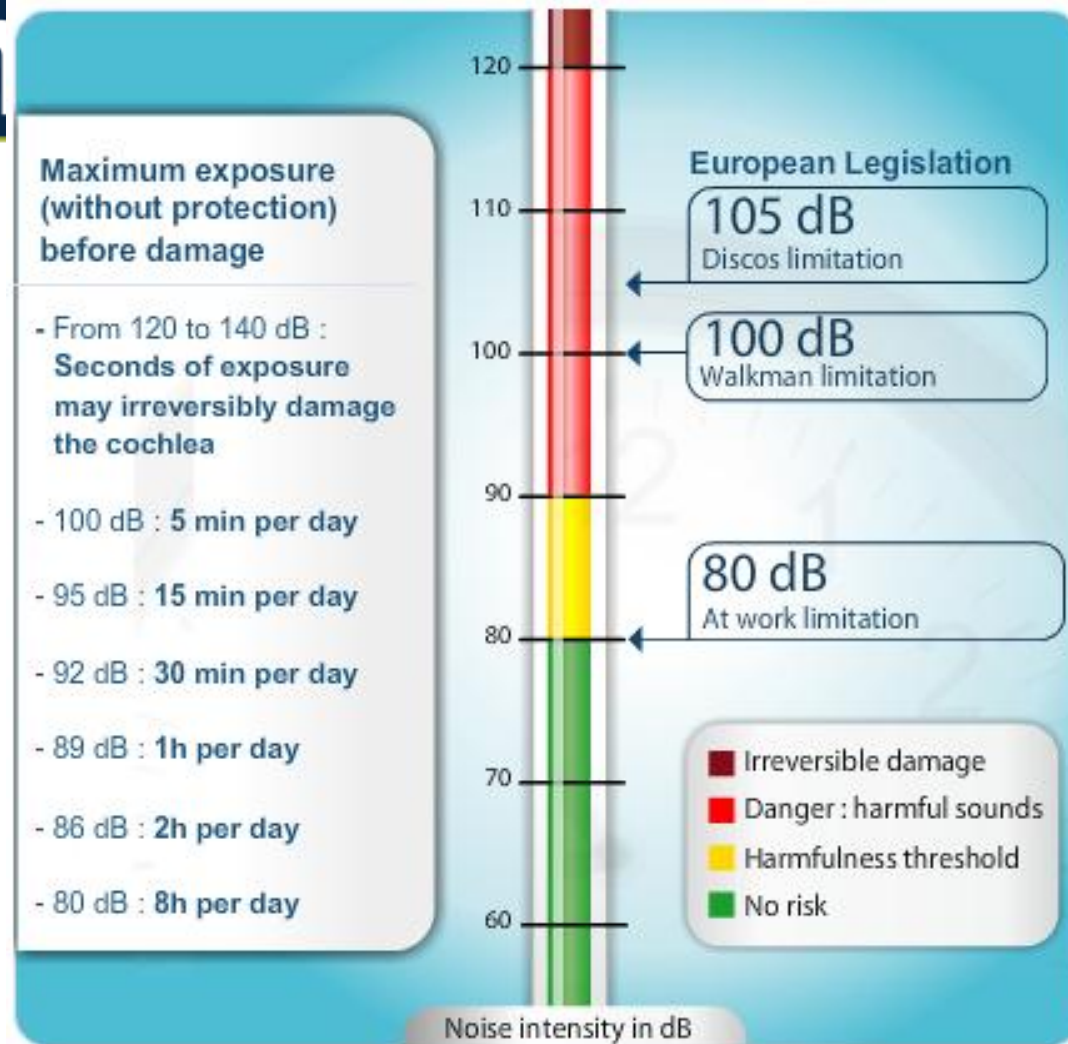
# TUM



## SOUND EXPOSURE AND DANGER FOR THE EAR !

**This sound level scale (in dB) classifies the sounds in our environment into four categories :**

- Up to 80 dB (green): there is no risk for the ear, regardless of the duration of the sound exposure
- From 80 to 90 dB (yellow): we are getting closer to the danger zone, but the risks are limited to very long exposures.
- From 90 to 115 dB (red): the danger zone: the louder the sound the less time is needed for damage to occur.
- Above 115 dB (brown), very brief sounds immediately cause irreversible damage. <http://www.cochlea.org/en/noise>



## DANGEROUS AND THE LAW

## \_LEVEL/DURATION

Sound levels damaging the cochlea are indicated here, regarding the European Legislation. An emphasis is made on the time limit exposure for each dangerous level.

See: [directive 2003/10/CE of the European Parliament, 06/02/2003](http://www.cochlea.org/en/noise)

**You can see that current law doesn't necessarily protect our ears!**

- By limiting the sound level at nightclubs to 105 dB, we may be protecting the neighbours, but not the punters who shouldn't expose themselves to 100 dB for more than half an hour! DJs are starting to understand this: take a good look at their ears... generally they're protected!
- Limiting the output of an MP3 player to 100 dB is a good thing, but it should be pointed out that listening to it for more than 2 hours a day at 90 dB is dangerous!
- Regarding work legislation, if it is generally perfectly applied and followed in factories and airports, it won't help the care-free handyman who happily uses nail guns, circular saws and grinders without protection!
- Similarly, although ear defenders are required in shooting galleries, what hunter ever thinks about wearing earplugs?

## Schallpegel

Bei der Hörakustik ergibt sich zwischen dem niedrigsten auftretenden Schalldruck (der Ruhehörschwelle) und dem praktisch höchsten Schalldruck (d. h. der Schmerzschwelle) beim Menschen ein sehr großer Bereich. Bei 1 kHz beträgt z. B.

Ruhehörschwelle:  $p_{\text{th}} \approx 3 \times 10^{-5} \text{ Pa}$

Schmerzschwelle:  $p_{\text{max}} \approx 20 \text{ Pa}$

Bei der Umsetzung dieser Schalldrücke in Sinneseindrücke (also bei der Wahrnehmung von Lautstärke) gilt zudem das Weber-Fechnersche Gesetz:

$$\Delta \text{ Wahrnehmung} = \Delta I/I = \text{const. für alle } I$$

Dieses Gesetz besagt, daß die kleinste wahrnehmbare Änderung bei einer Reizgröße gerade proportional zur Reizgröße selbst ist. Durch Aufintegrieren dieser Bedingung folgt, daß die Lautstärkenwahrnehmung proportional zum Logarithmus der Schallintensität (bzw. des Logarithmus des Schallpegels) ist:

$$\text{Wahrnehmung} \sim \log I$$

Aus diesen beiden Gründen bietet es sich an, als praktikable Einheit des Schalldrucks (bzw. der Schallintensität) nicht den Druck direkt, sondern den Logarithmus des Schalldrucks zu verwenden. Bei dieser logarithmischen Skala hat man allerdings noch einen Skalierungsfaktor frei, den man gerade so wählen kann, daß eine Einheit auf dieser logarithmischen Skala gerade ungefähr der kleinsten wahrnehmbaren Schallpegeländerung entspricht. Diese Forderung führt zur dB-Skala, für die gilt:

$$\text{Schalldruckpegel: } L = 20 \times \log_{10}(p/p_0) \quad p_0 : \text{Bezugsschalldruck}$$

Die ursprünglich zu Ehren von Alexander Graham Bell benannte Pegel-Einheit Bel ist gerade eine um den Faktor 10 gröbere Skala, die eine Feinunterteilung in zehntel notwendig macht, so daß diese Pegelskala als **Dezibel** bezeichnet wird.

Für quadratische Größen (z. B. die Schallintensität  $I = p \times v$ , oder die Schalleistung  $P$ ) wird anstelle des Faktors 20 der Faktor 10 verwendet:

$$L = 10 \times \log_{10} (I/I_0)$$

Durch diese Definition ist gewährleistet, daß eine Pegeländerung in dB davon unabhängig ist, ob gerade ein Verhältnis von Schalldrücken (lineare Größe) oder ein Verhältnis von quadratischen Größen (z. B. Schallintensität) gebildet wird. Weiterhin ist festzuhalten, daß die dB-Skala immer einen Bezugswert braucht und damit als relative Skala anzusehen ist. Die folgenden Werte von Pegeländerungen sind für die Praxis dabei von besonderer Bedeutung:

1 dB	kleinster hörbarer Pegelunterschied
3 dB	Verdoppelung der Leistung ( $\log_{10} 2 \approx 0,3$ )
6 dB	Verdoppelung der Amplitude, Vervierfachung der Leistung
10 dB	Verdoppelung der subjektiven Lautstärke, zehnfache Leistung
20 dB	zehnfache Amplitude, 100-fache Leistung

Je nach Wahl des Referenz-Schalldrucks wird der jeweilige Schallpegelwert unterschiedlich bezeichnet. Wenn wir genau wie oben wieder den Pegel definieren als:

$$L = 20 \times \log p/p_0$$

gibt es die folgende Festlegung:

**dB SPL**    Sound Pressure Level

Der Referenzdruck wurde dabei in der Nähe (jedoch nicht identisch) der Ruhehörschwelle bei 1 kHz festgelegt:

$$p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$$

Diese Definition kann für beliebige Schalle von beliebiger Bandbreite angewandt werden. Der angenommene Referenzschalldruck  $p_0$  entspricht dabei nicht exakt der individuellen Ruhehörschwelle. Beispielsweise weicht die genormte (über ein großes Versuchspersonenkollektiv gemessene) Ruhehörschwelle bei 1 kHz um 3 dB von diesen Wert ab.

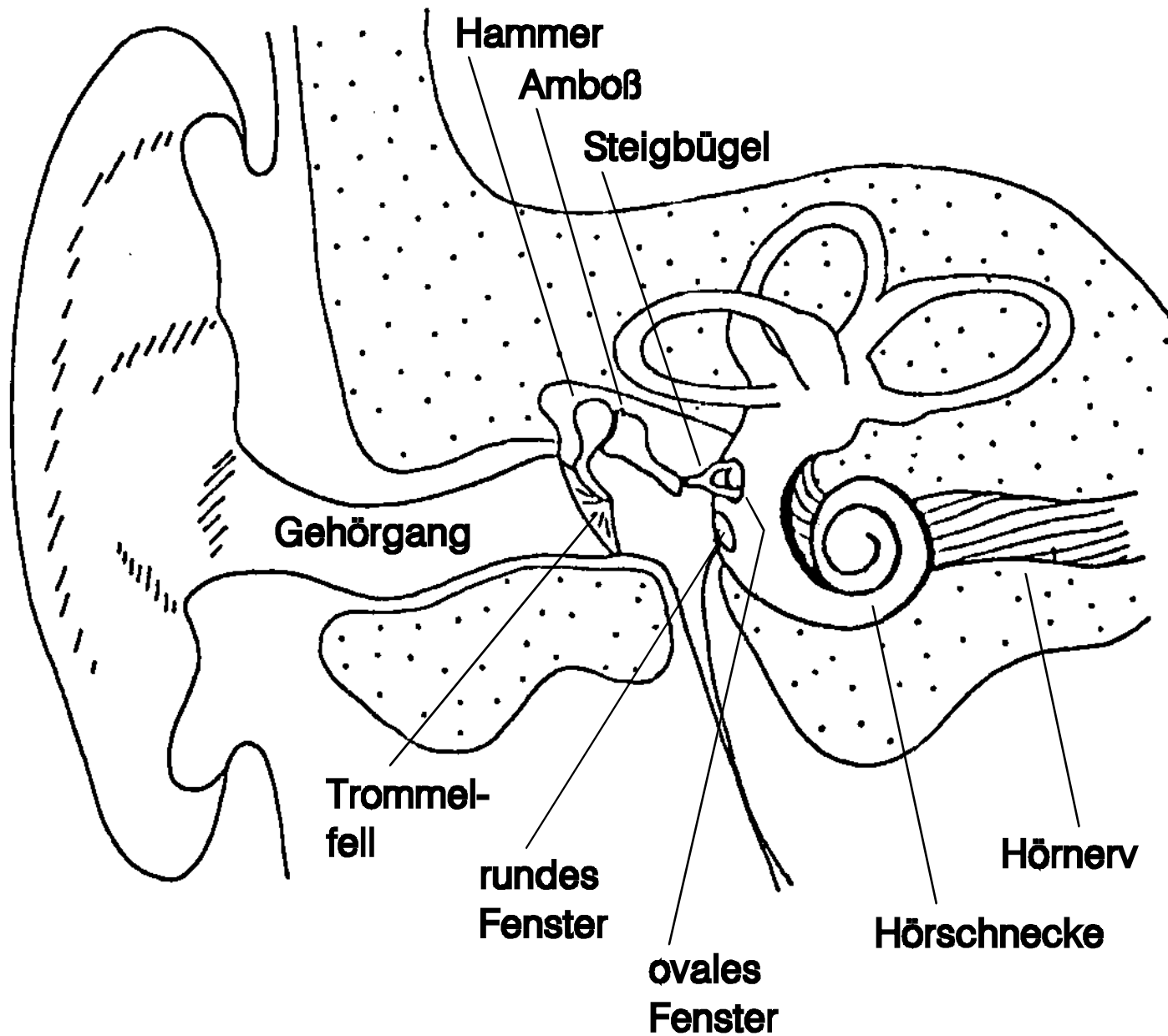
**dB (A)**    mit Filter „A“ bewertet

Bei dieser Pegeldefinition wird die Ruhehörschwelle bzw. die Lautheitsempfindung bei niedrigen Lautstärken insofern berücksichtigt, als sehr niedrige und sehr hohe Frequenzen weniger gewichtet werden als die mittleren Frequenzen. Dazu wird das Eingangssignal zunächst mit dem Filter „A“ gefiltert, der die Höhen- und Tiefenabsenkung bei niedrigen Pegeln simuliert. Das Ausgangssignal wird dann in dB SPL gemessen.

äußeres Ohr

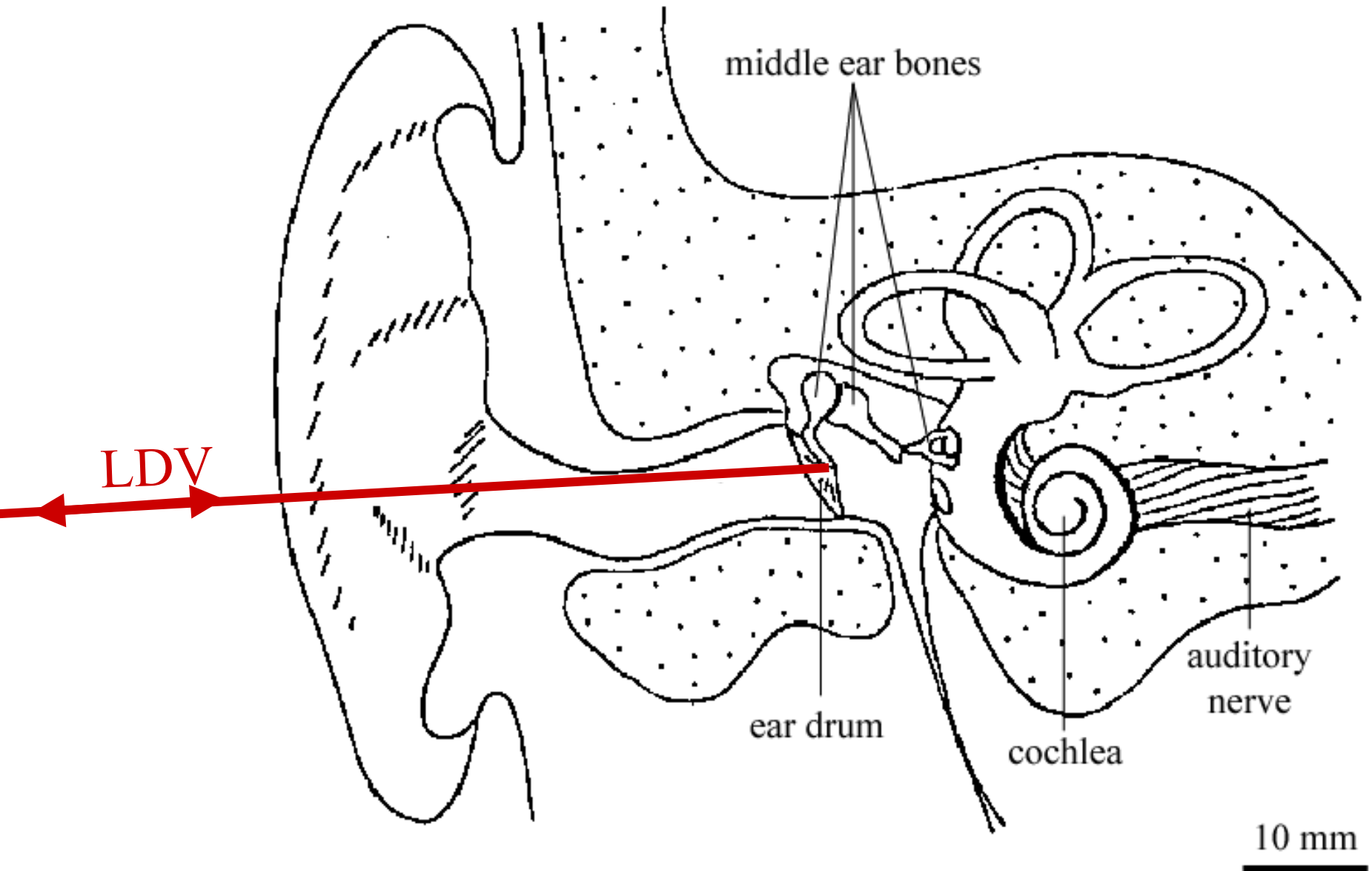
Mittelohr

Innenohr

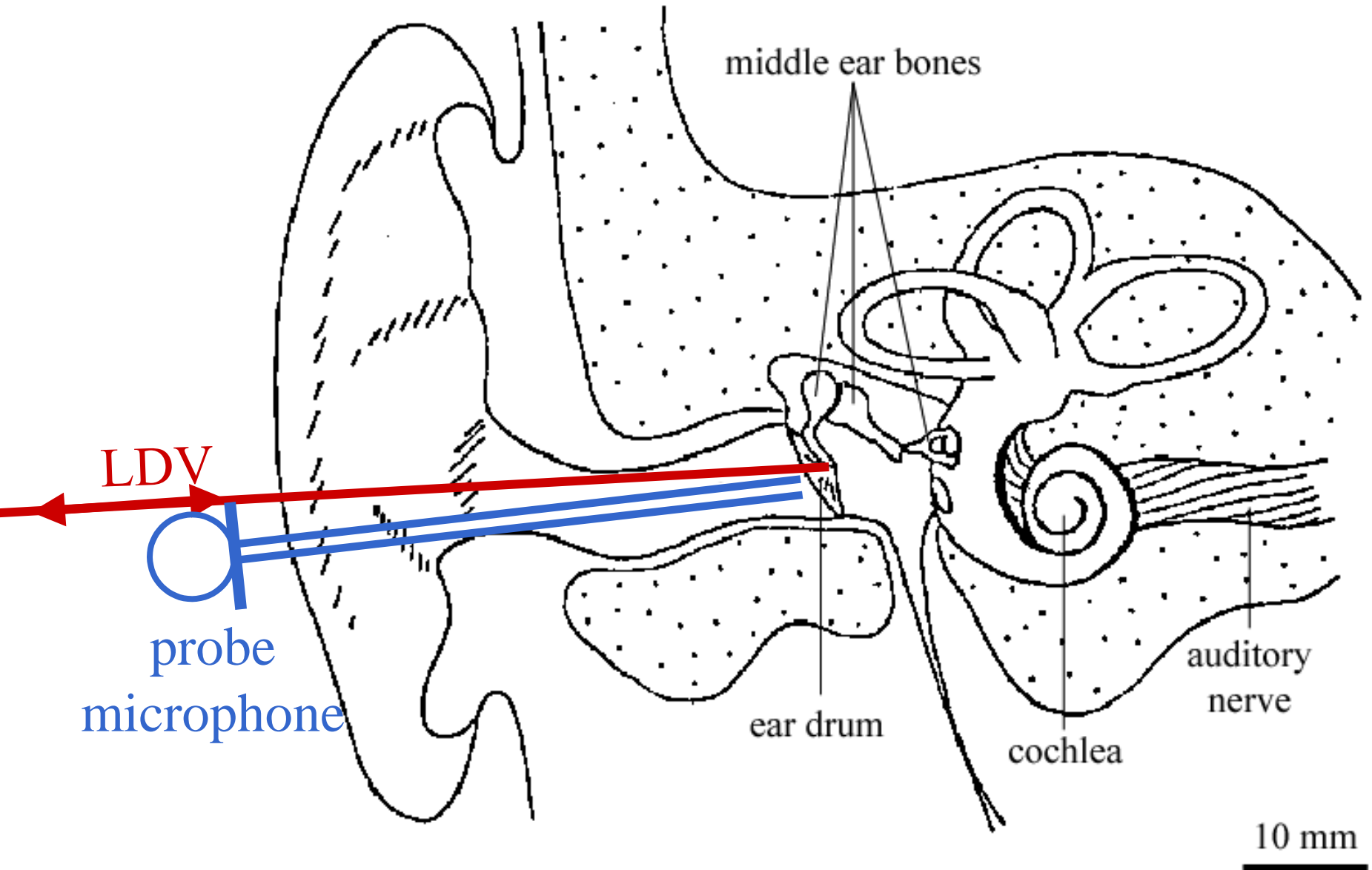




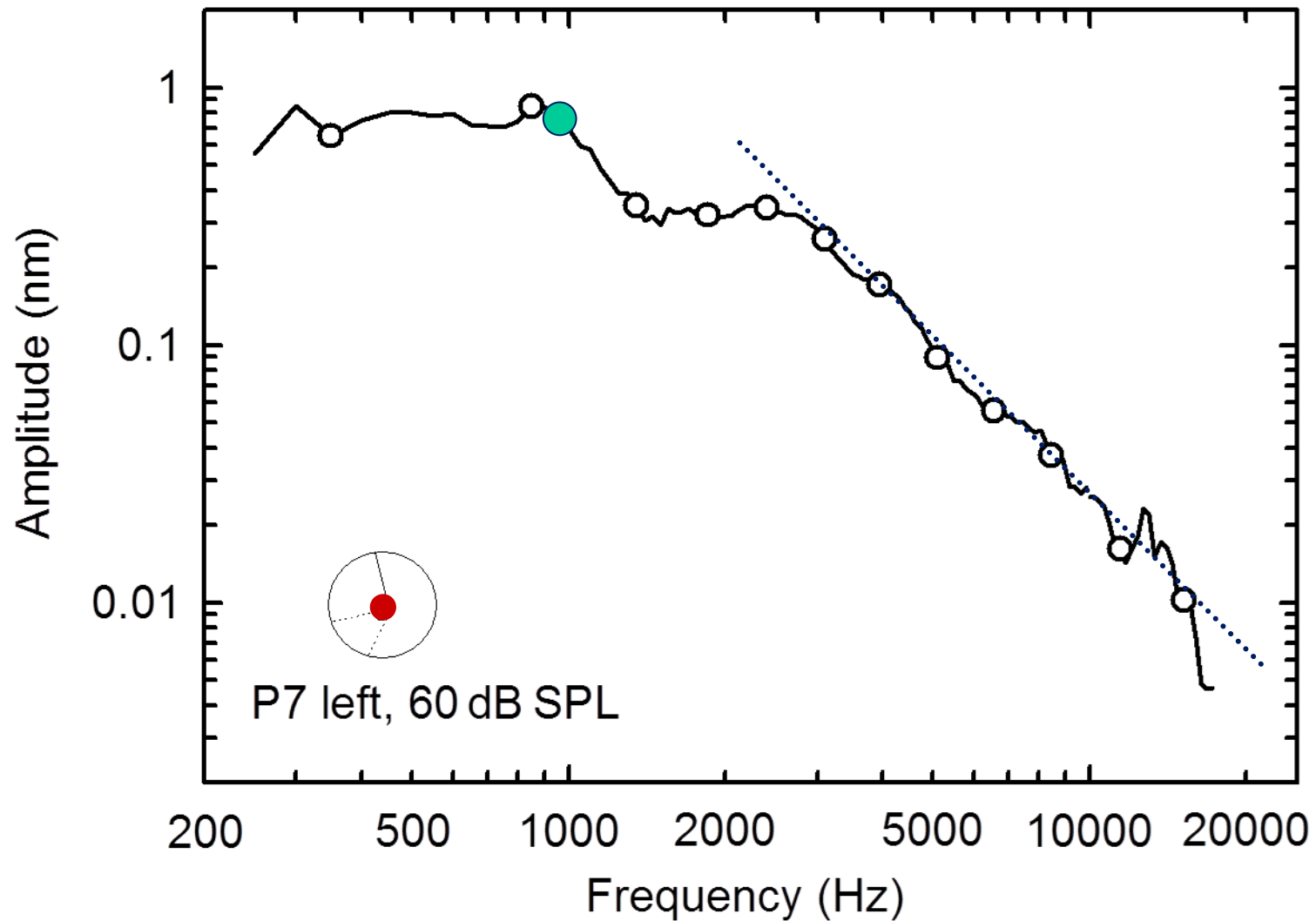
# Ear drum vibration

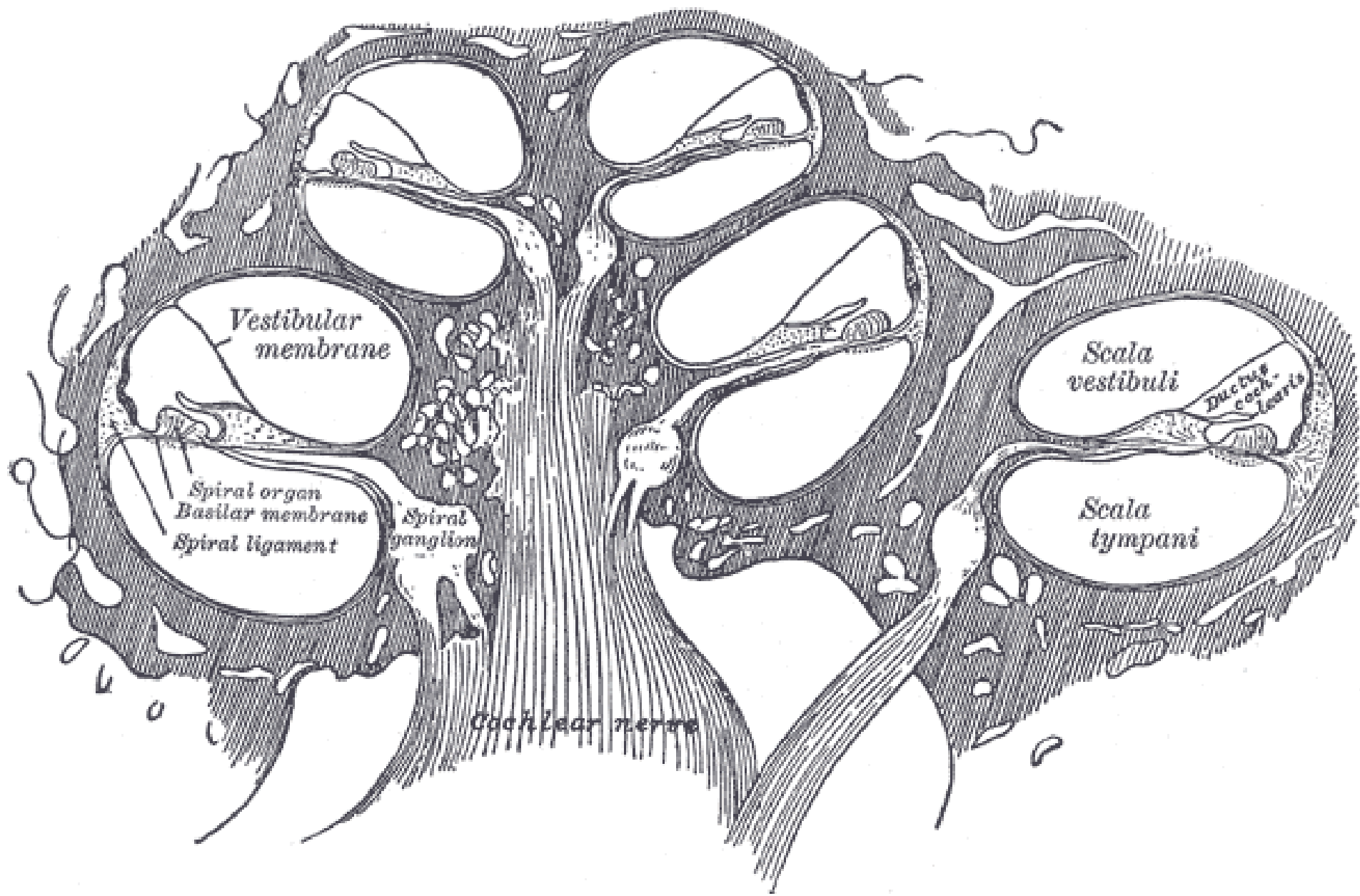


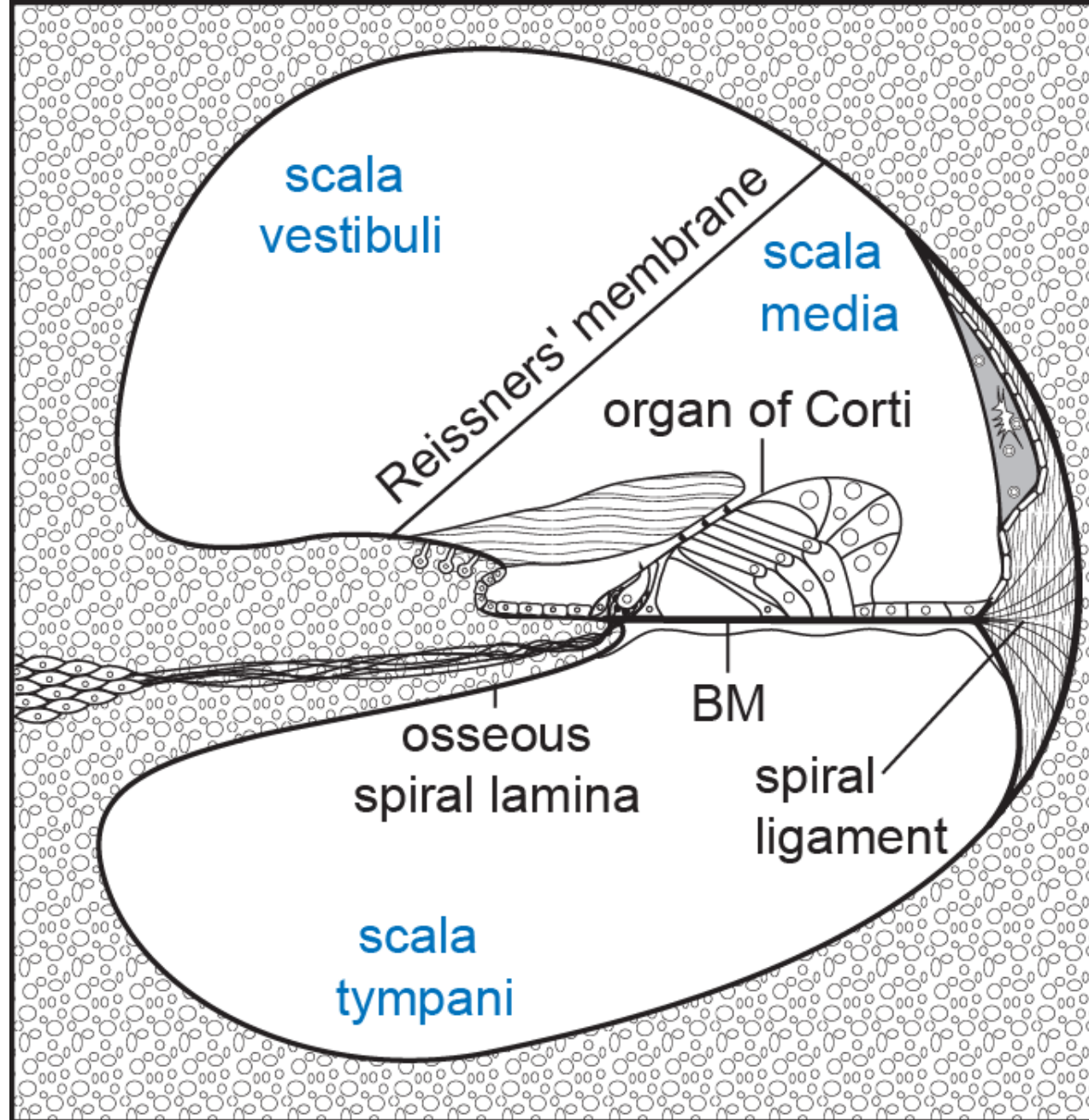
# Ear drum vibration



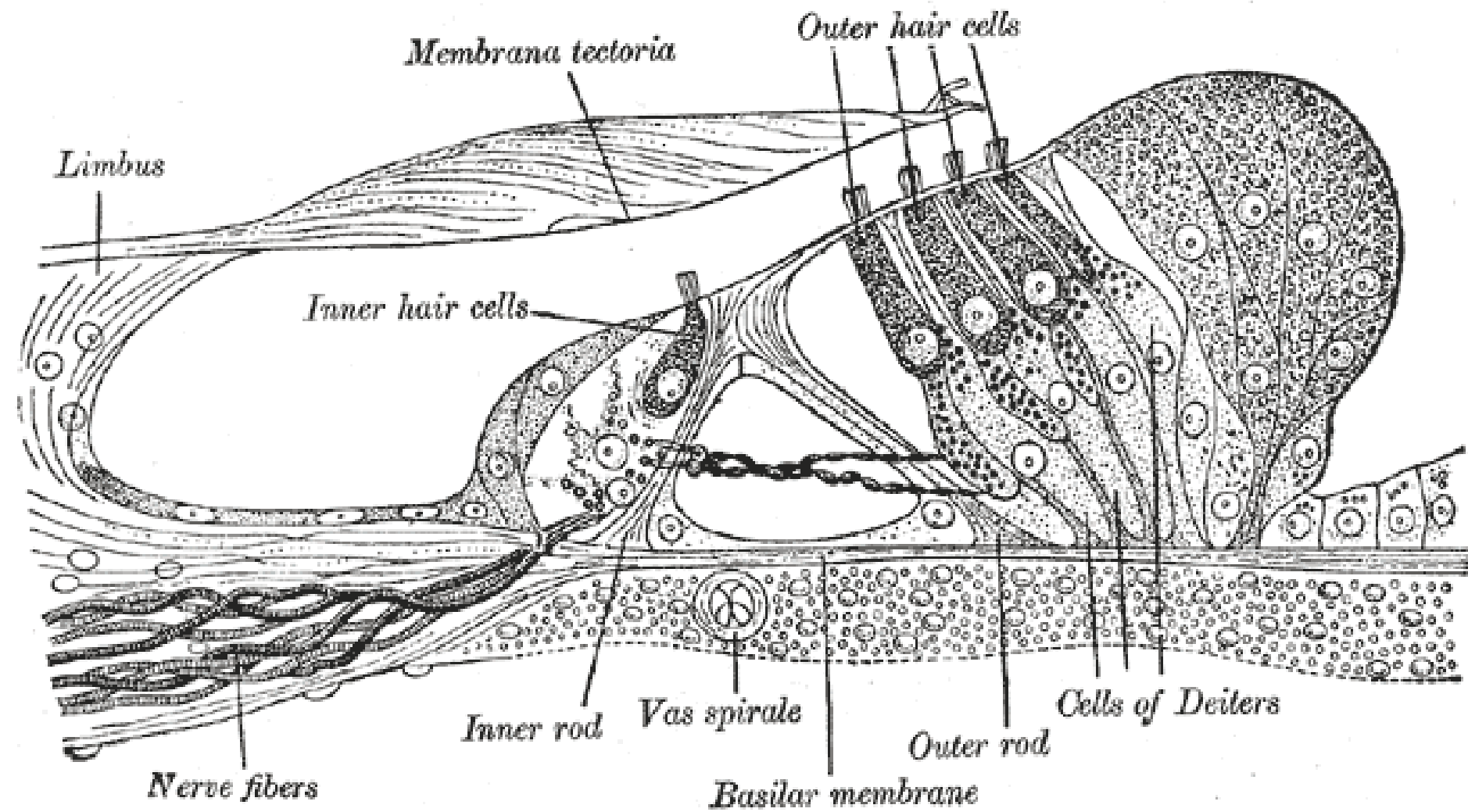
# Ear drum vibration

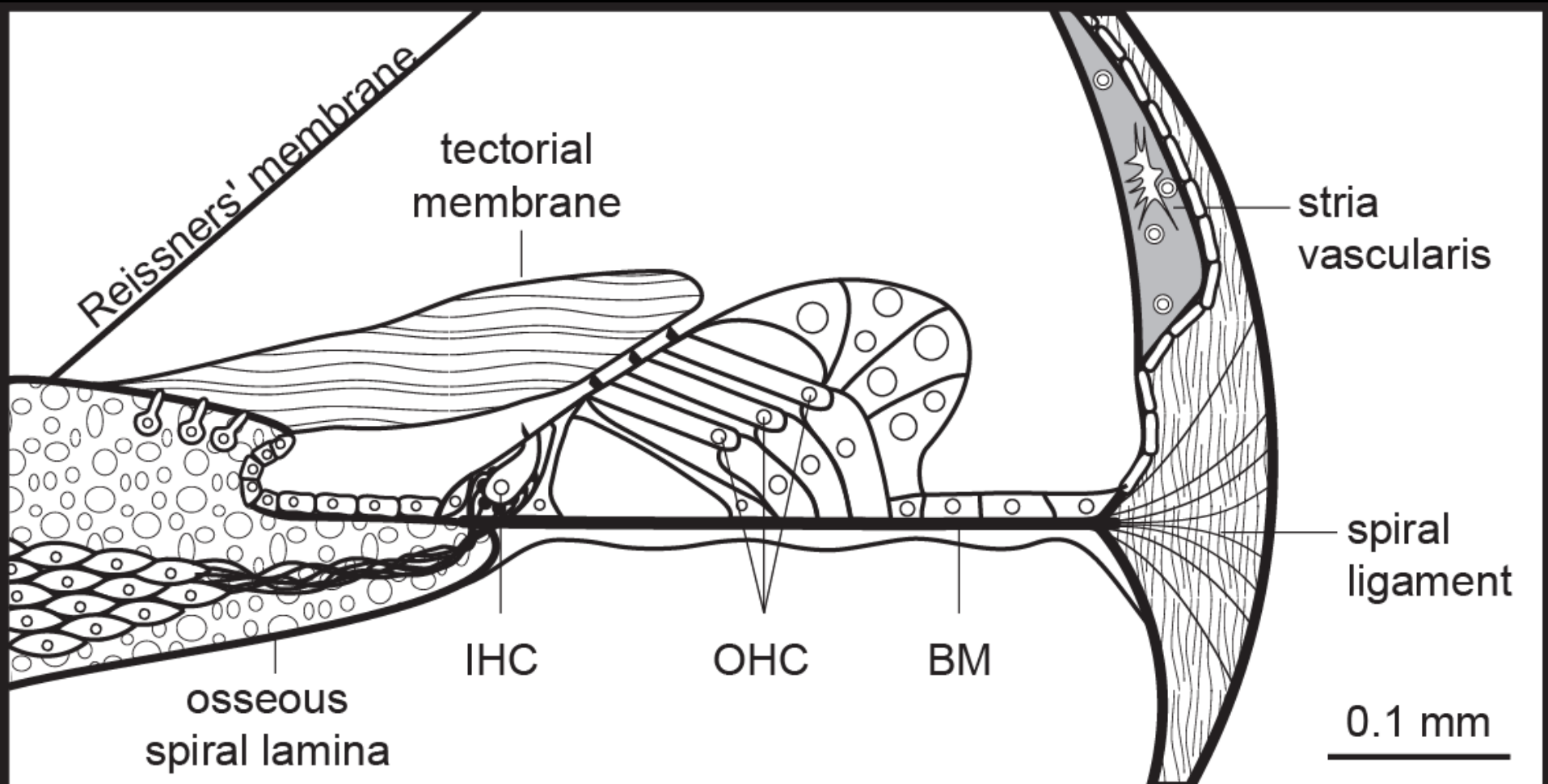




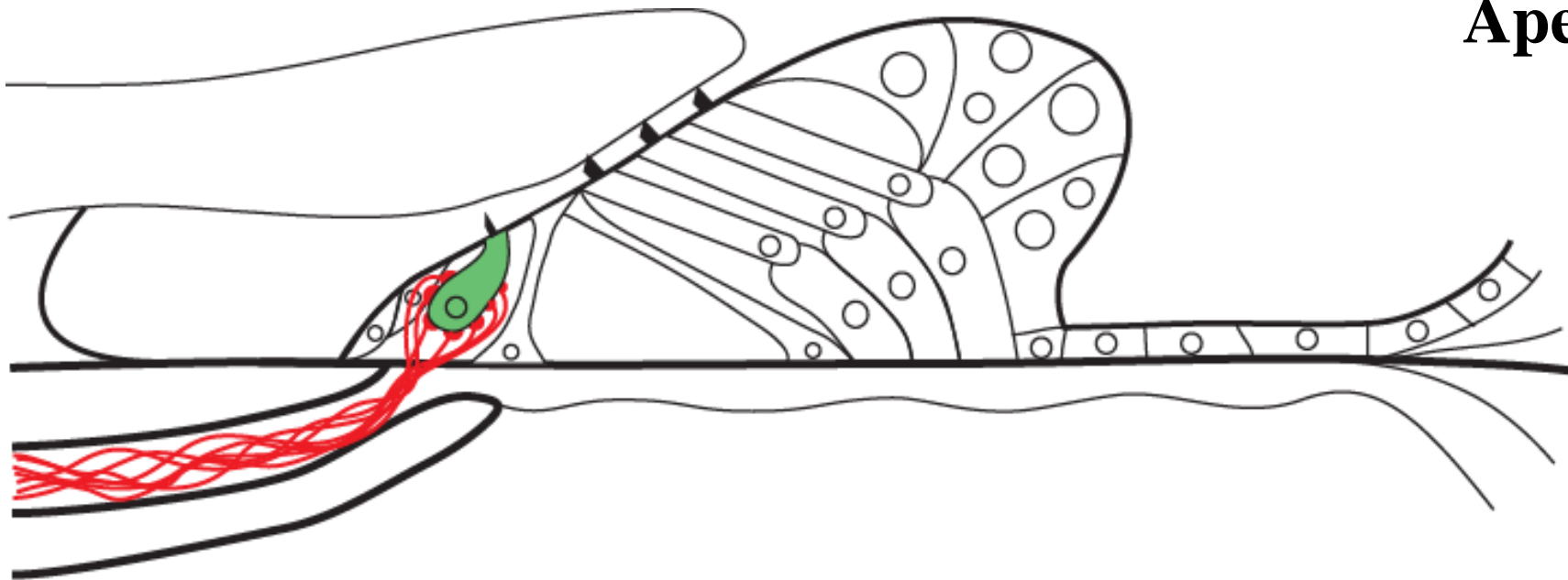


0.5 mm

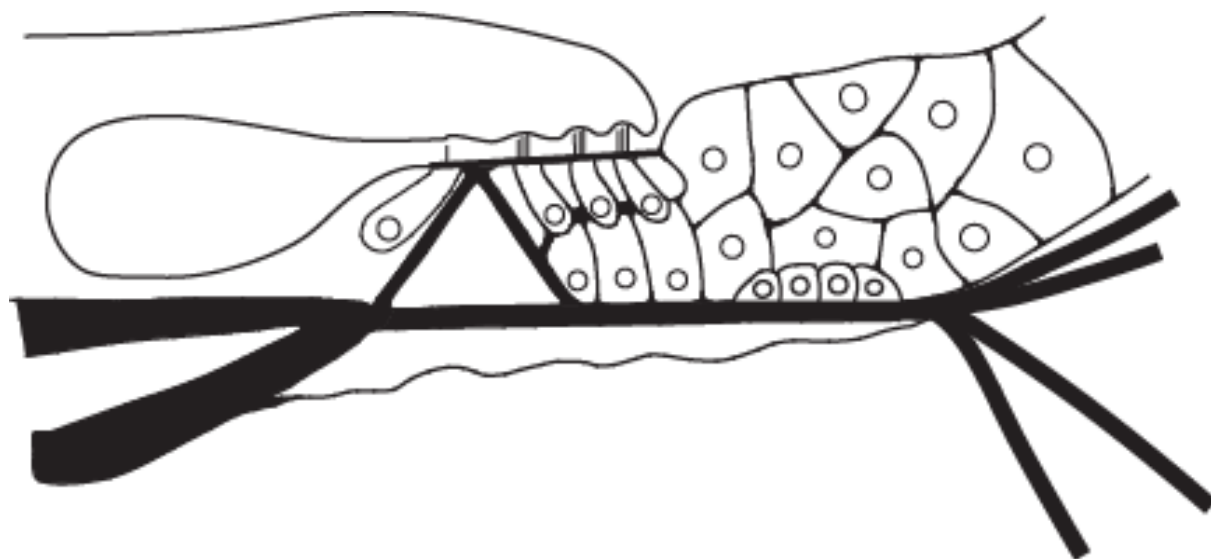




**Apex**

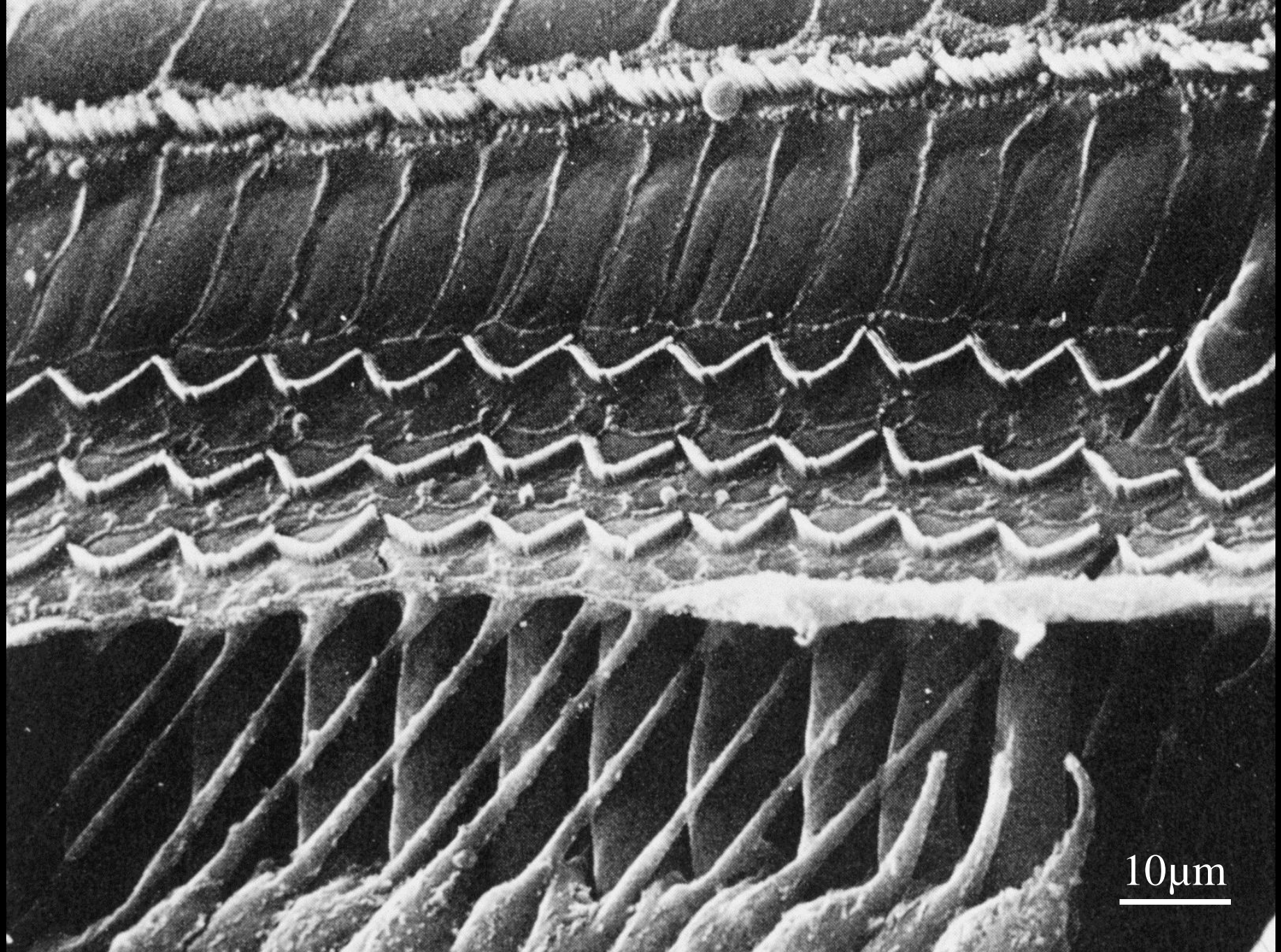


100 μm



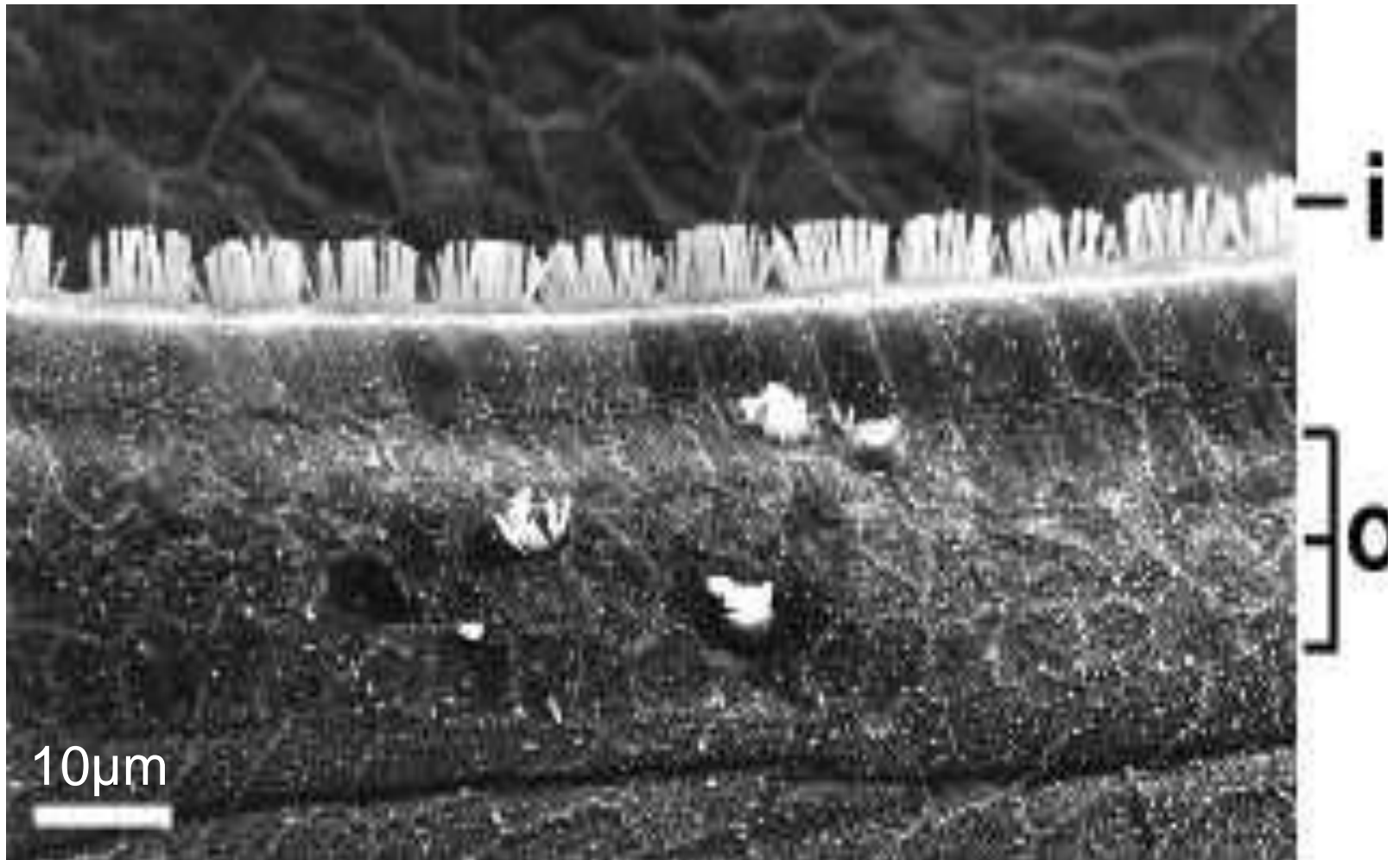
**Base**





Engström (1983)

# ... after noise trauma

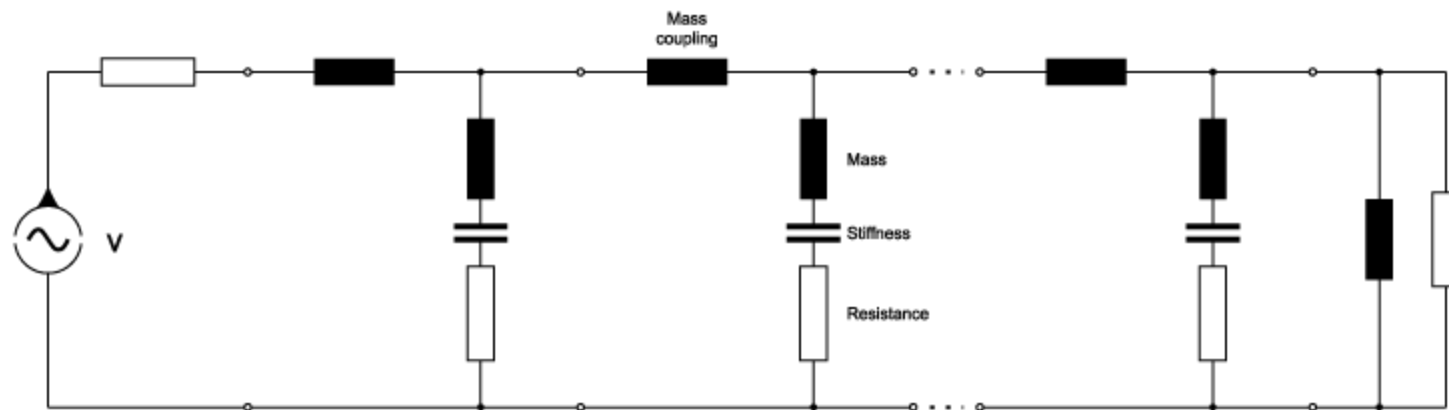
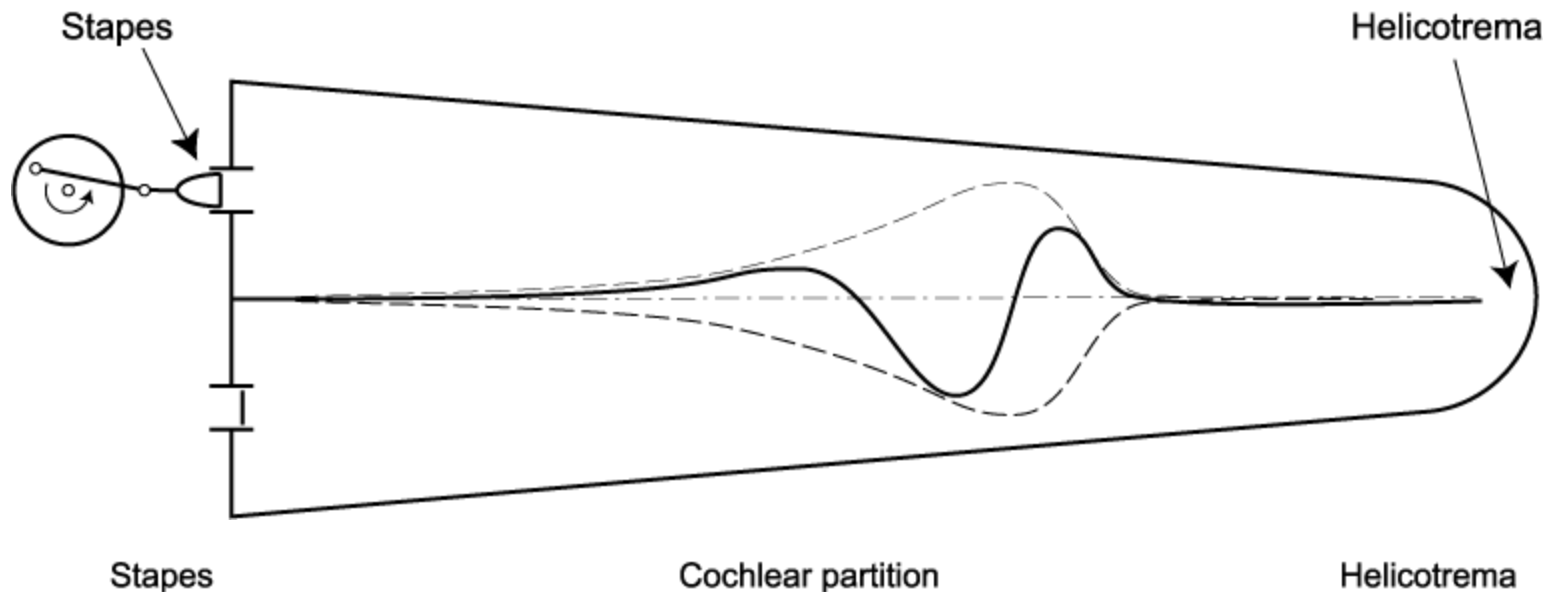


Damage is most severe in the region of the outer hair cells (o), while the bundles of the inner hair cells look still intact. The hearing loss is between 50 and 60 dB (R. Pujol).

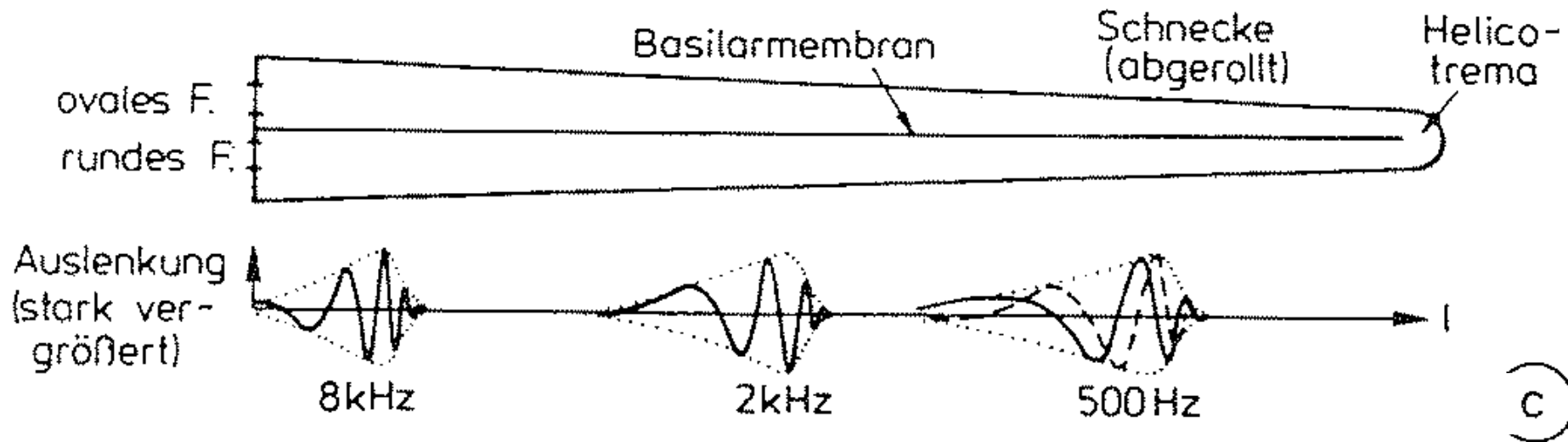
# Cochlear Hydrodynamics

Werner Hemmert

IBM Zürich Research Laboratory



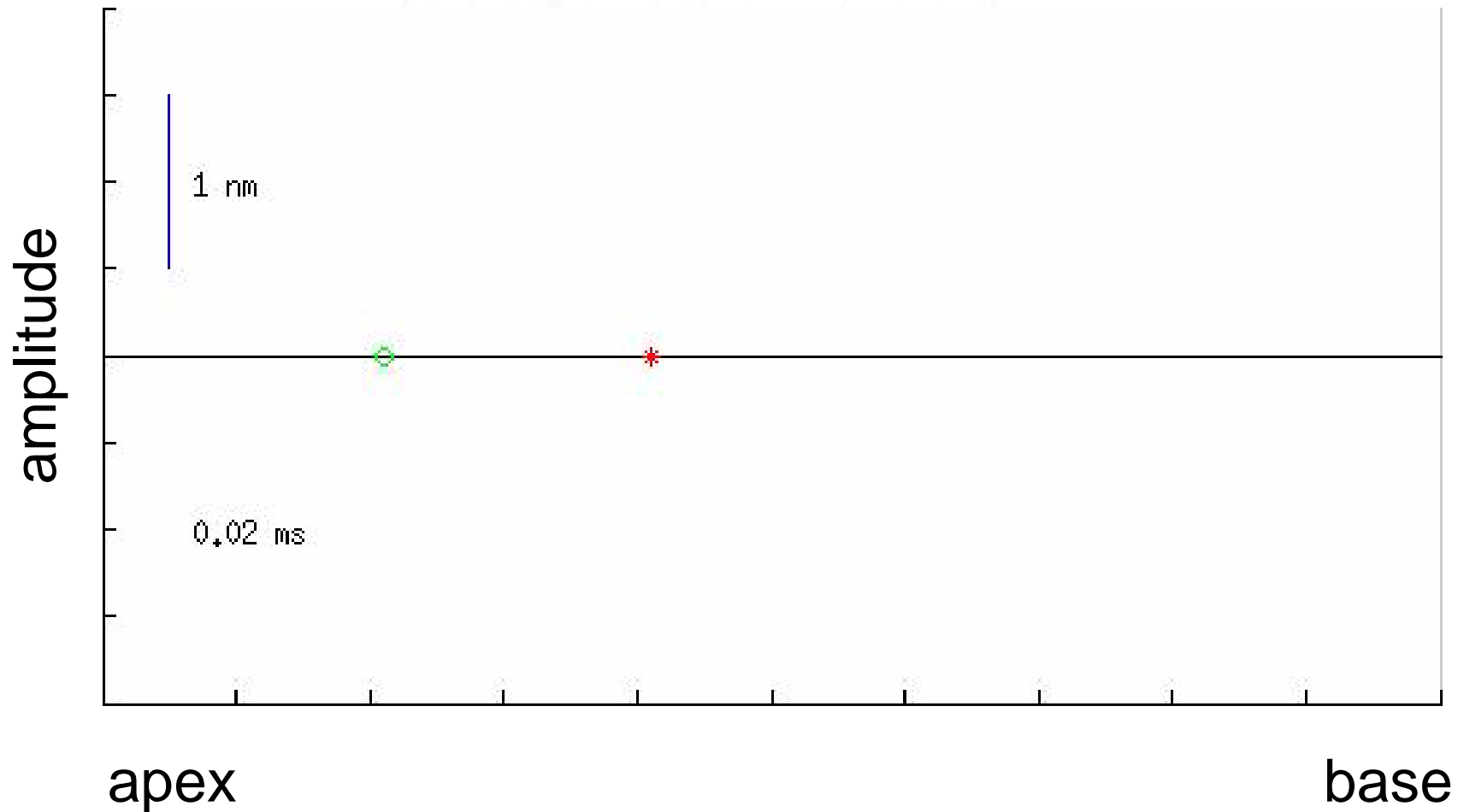
# Cochlear Hydrodynamics



Schematische Darstellung der Frequenz-Ortstransformation im Innenohr: Drei gleichzeitig dargebotene Töne mit unterschiedlichen Frequenzen führen zu Wanderwellen, die an verschiedenen Orten ihr Maximum erreichen.

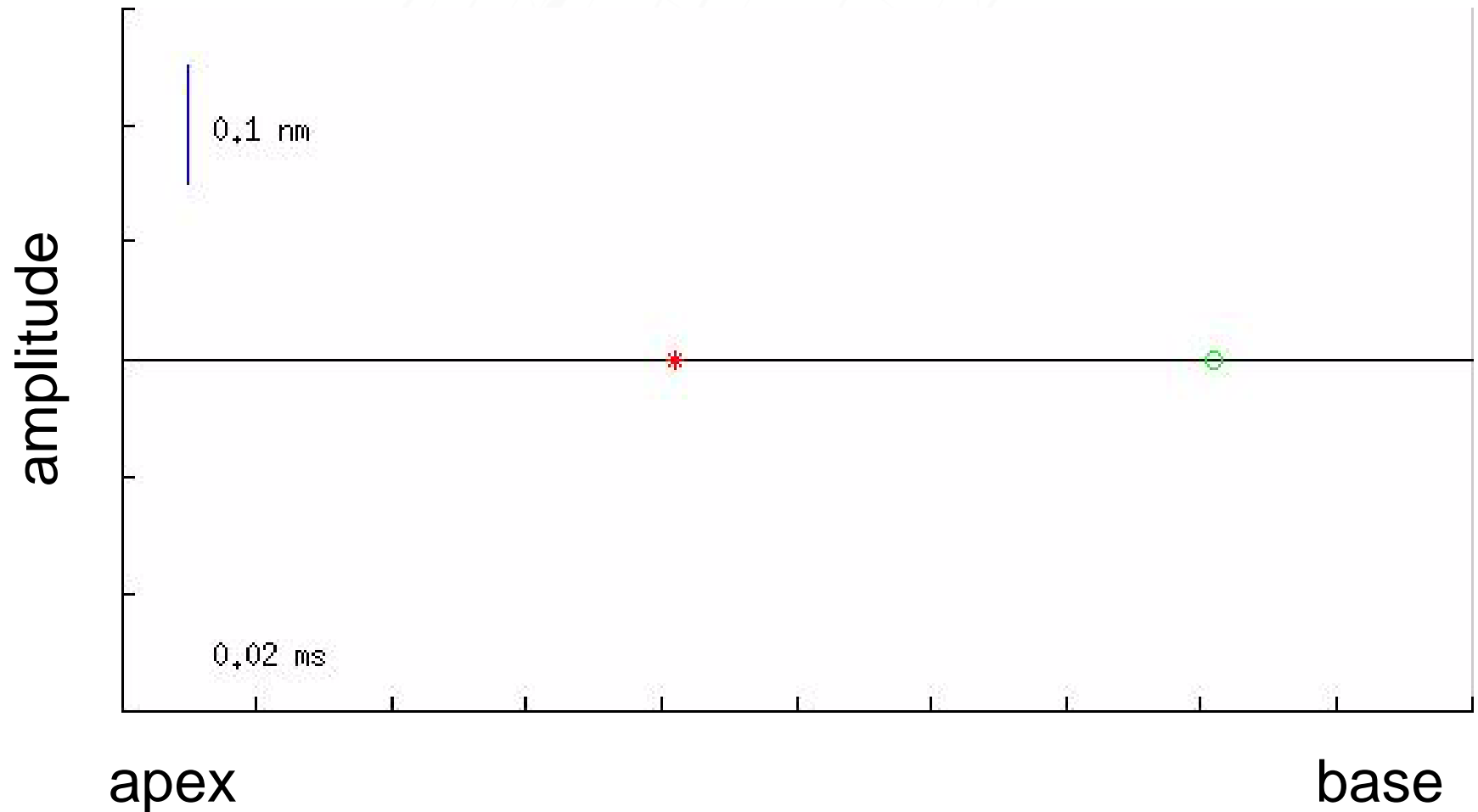


# Passive inner ear response to an impulse



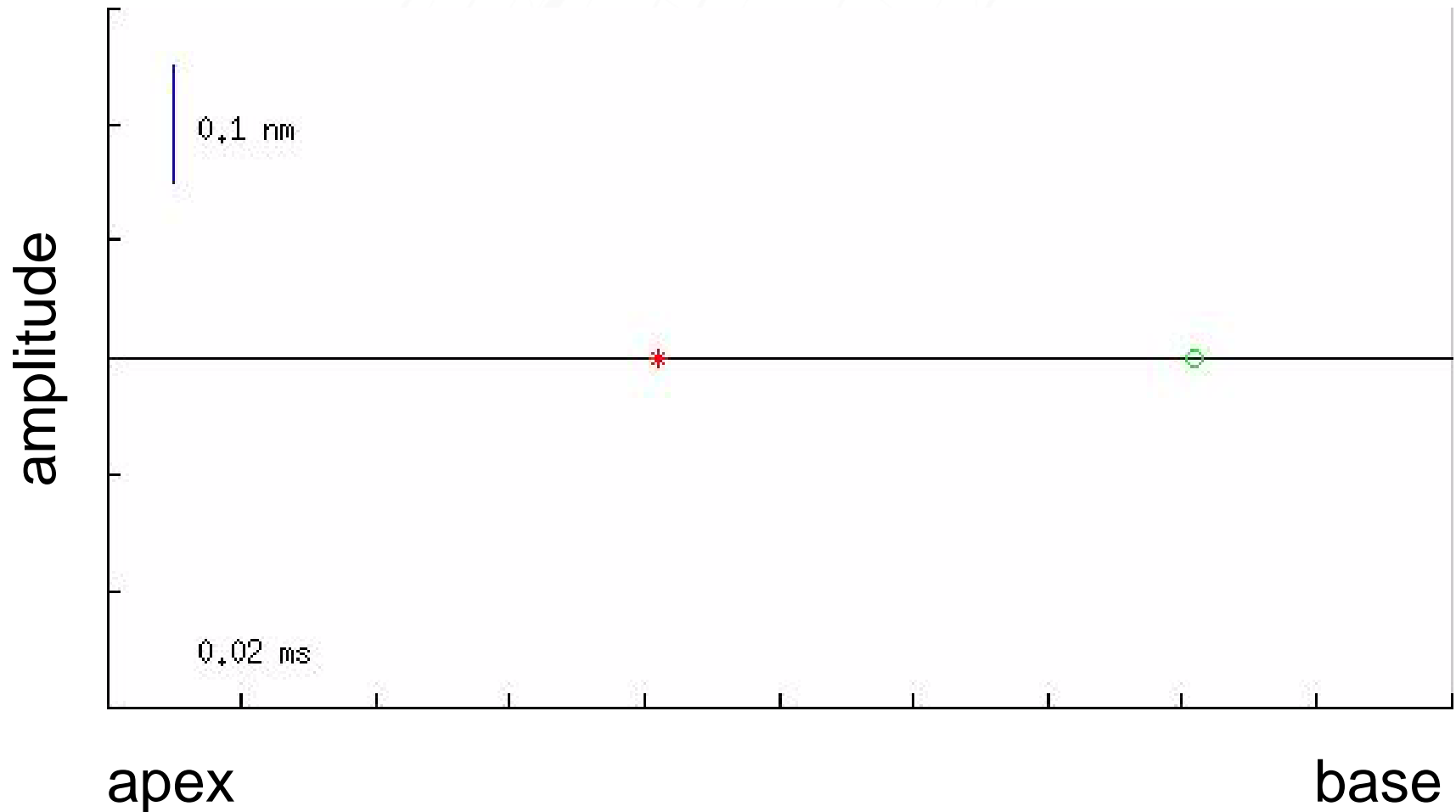


# Passive inner ear response to a 5 kHz tone



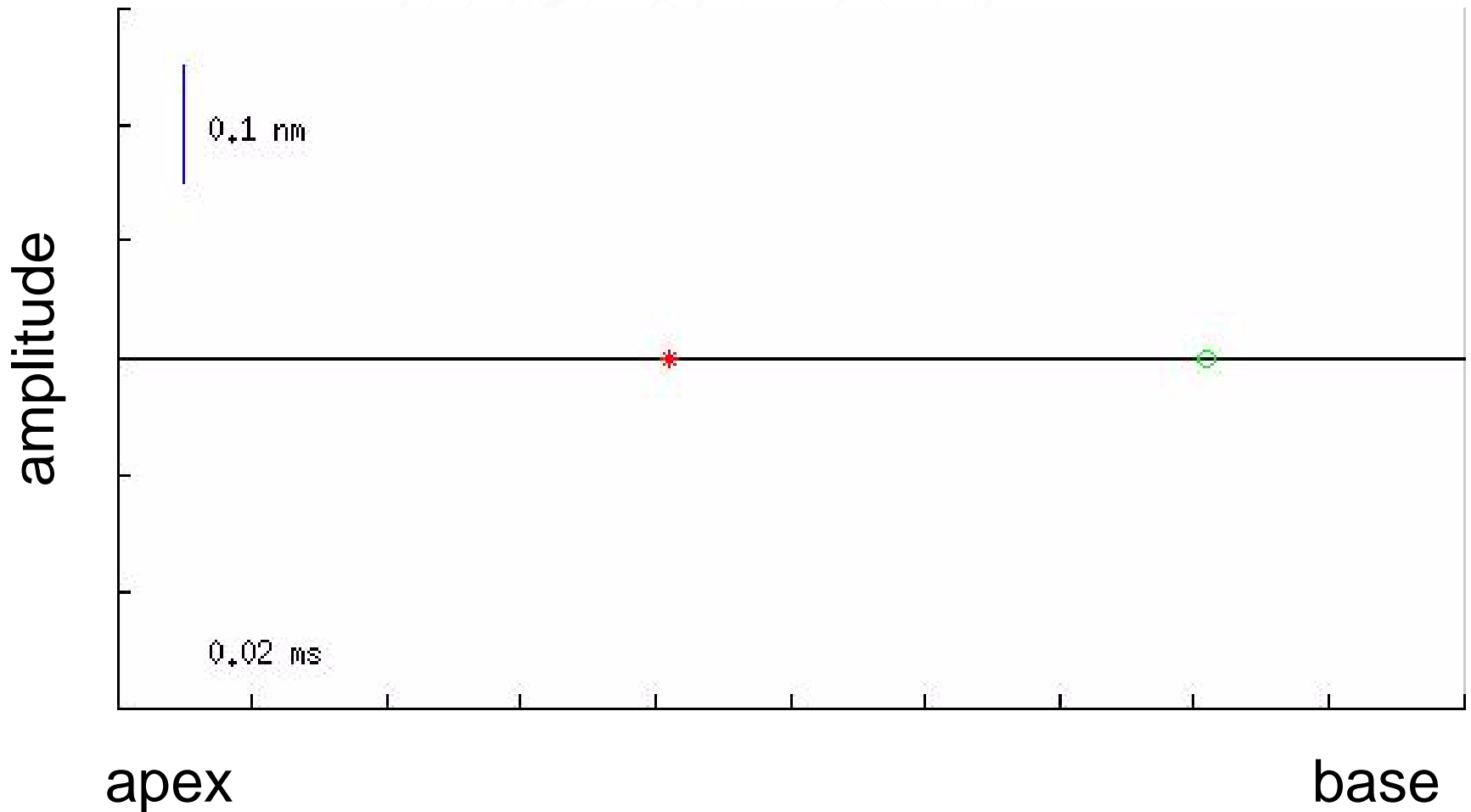


# Passive inner ear response to a 1 kHz tone





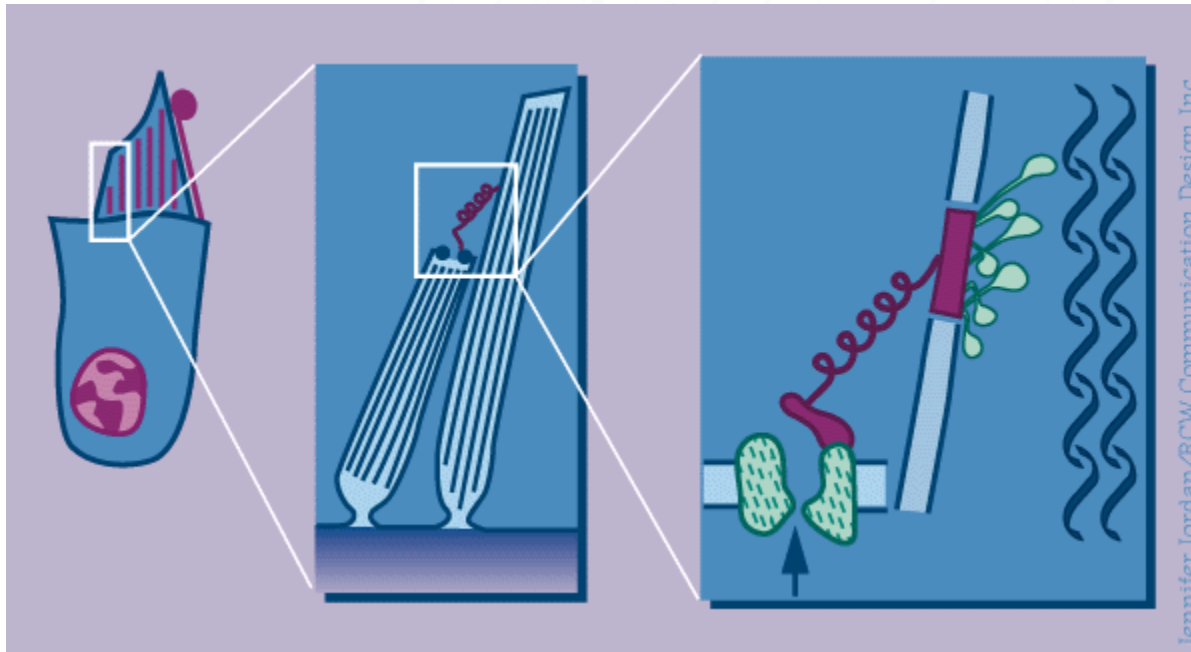
## Passive inner ear response (1 & 5kHz) tone)







# Mechano-Electrical Transduction



Pickels et al. (1984)

Hudspeth (1989)

Kachar et al. (2000)



# Outer Hair Cell Electromotility

20  $\mu\text{m}$

Brownell et al. (1985)

Zenner (1986)

rock\_around\_the\_clock.mpeg

Special thanks to Jonathan Ashmore & Fabio Mammano

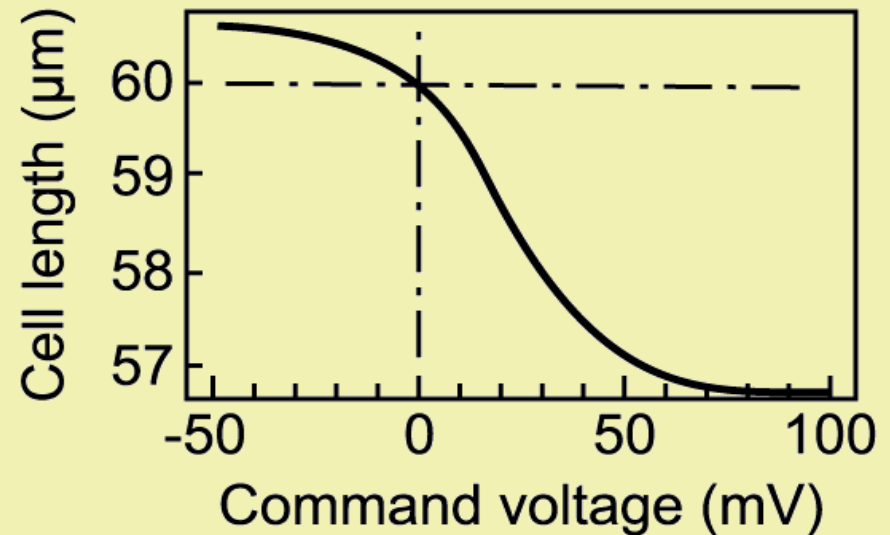
# Outer Hair Cell Electromotility



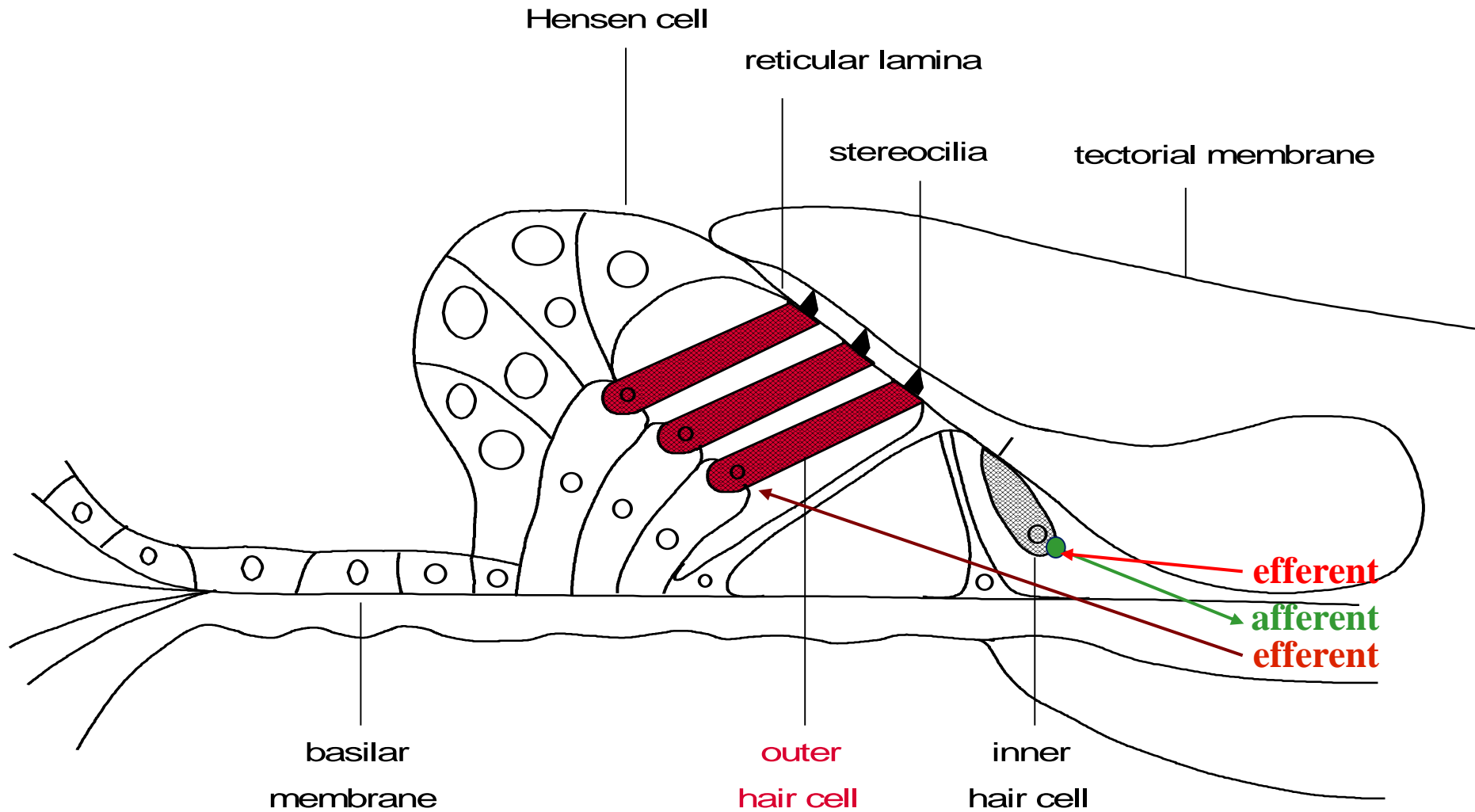
Brownell et al. (1985)

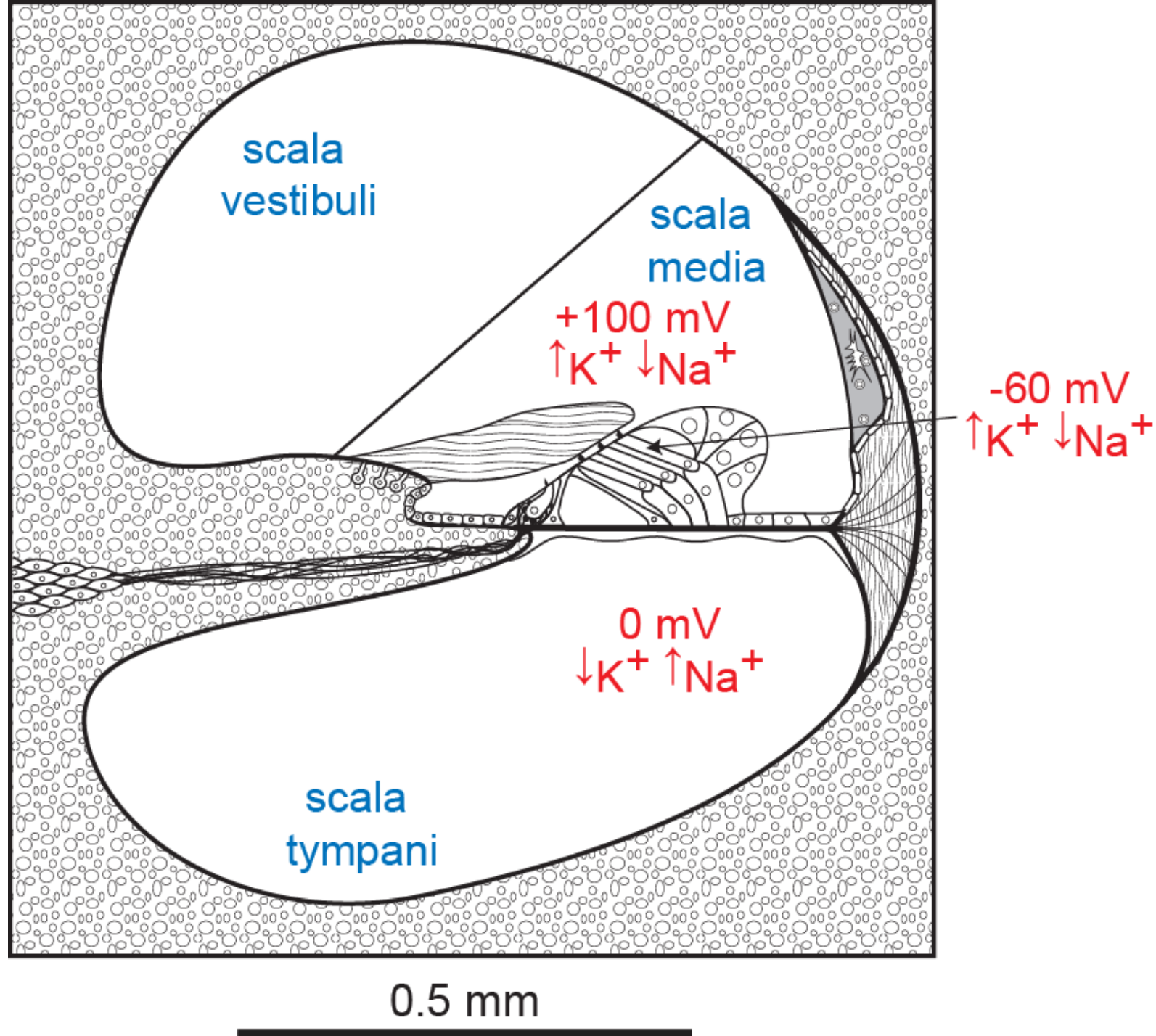
Zenner (1986)

Ashmore (1987)

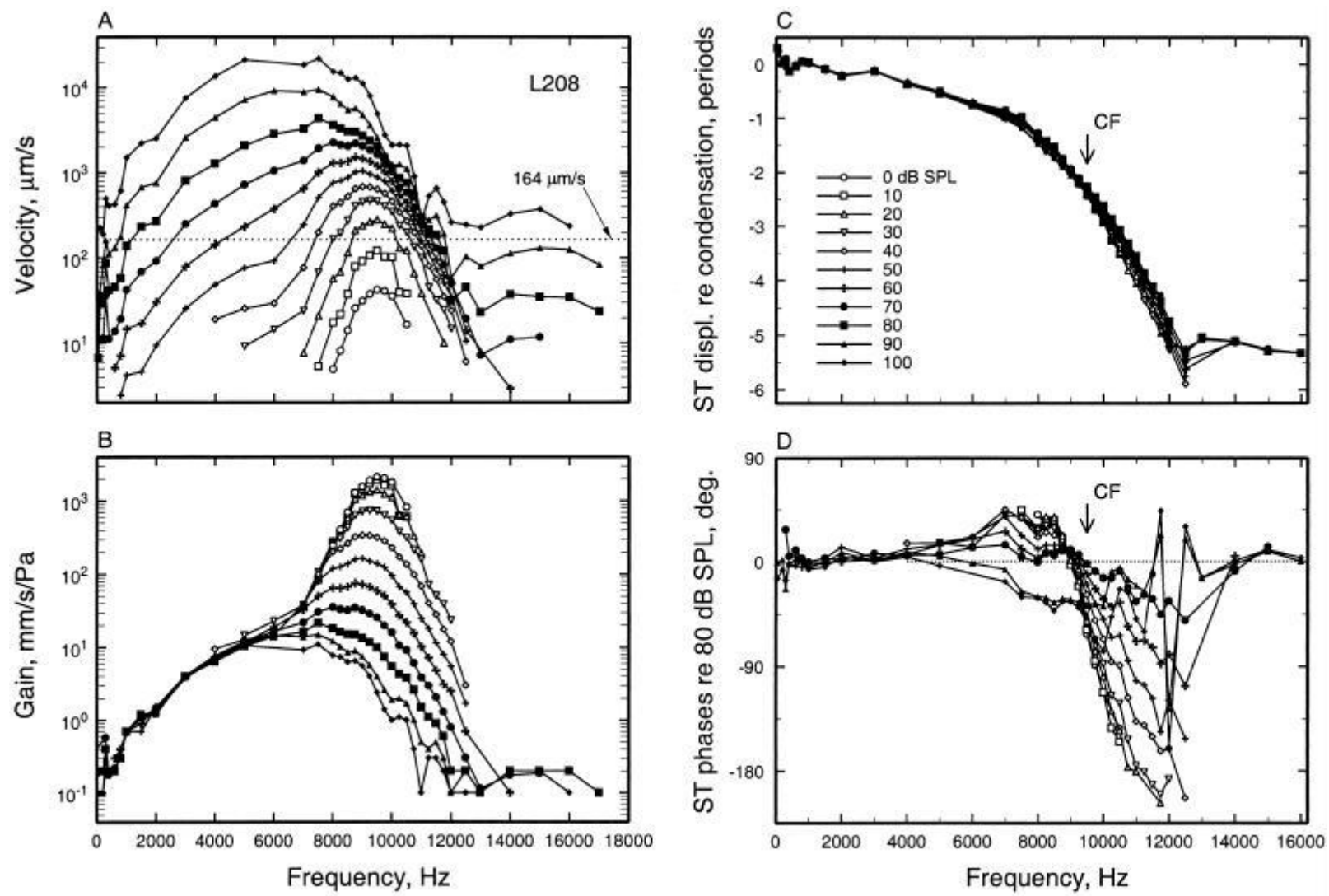


# Innervation of Receptor Cells





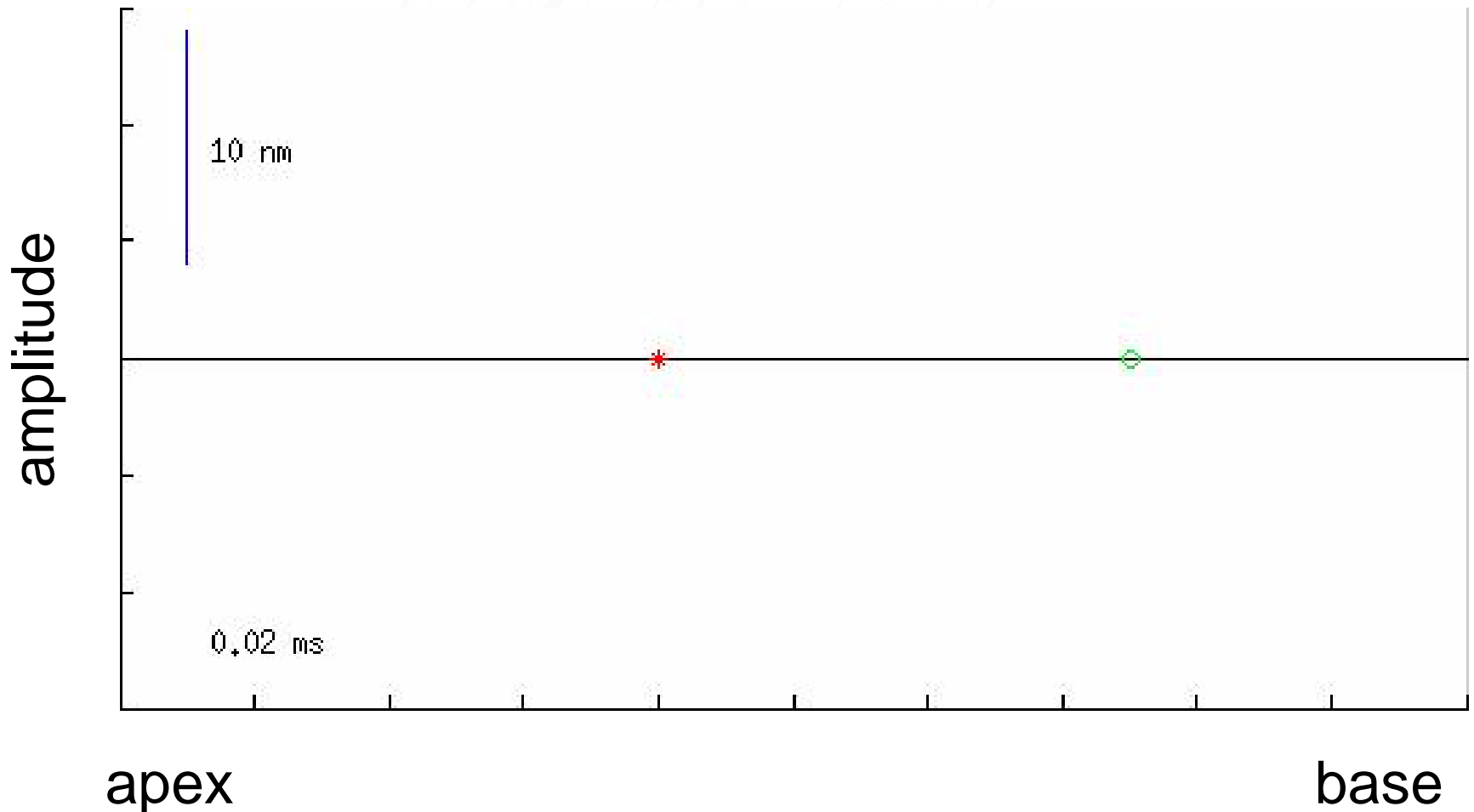
# Basilar membrane response: single-point measurement







# Inner ear response to a 1 kHz & 5kHz tone







# Neuroprothetik

- 1) Vorstellung Neuroprothesen
- 2) Einführung in die Biologie
- 3) Das Membranpotential
- 4) Spannungsgesteuerte Ionenkanäle
- 5) Die Hodgkin-Huxley-Gleichungen
- 6) Elektrische Stimulation von Neuronen
- 7) Elektrische Stimulation entlang des Axons
- 8) Das Hörorgan

## Lernziele:

- Kodierung von Schall im Innenohr
  - Ortsprinzip
  - Dynamikkompression, Ratenkodierung
  - Zeitliche Kodierung, Phasenkopplung
  - Adaption