

Hören & Innenohr (Akustik)

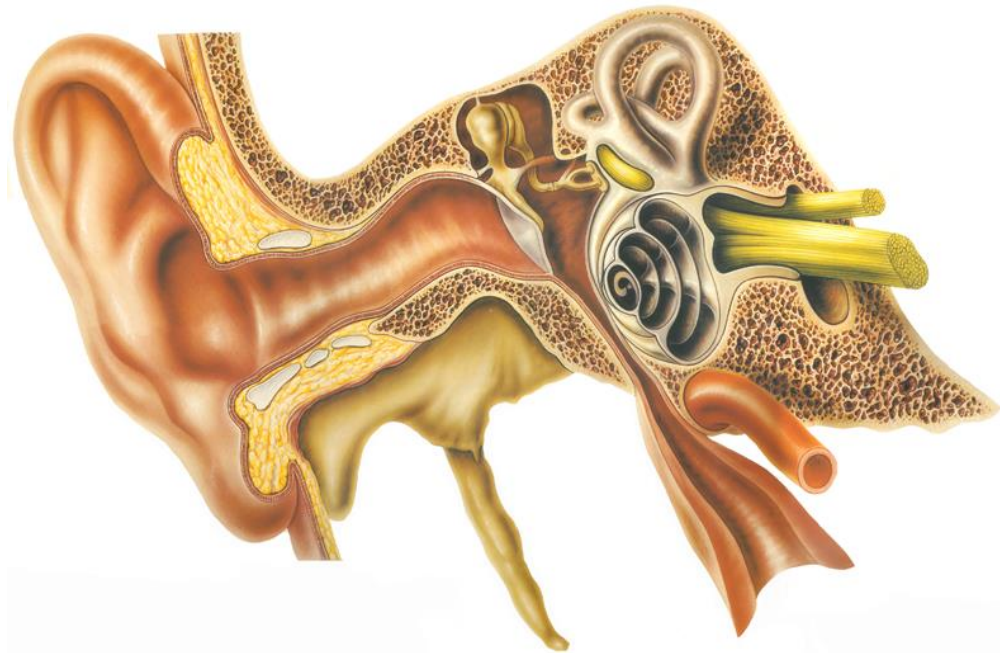
Was ist Schall?

Funktionelle Organisation des Hörorgans

Subjektive Hörtests

Objektive Hörtests

frank.boehnke@tum.de



Hören

1863 Resonanztheorie des Hörens:

Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik

1852 Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Nervenenerregungen

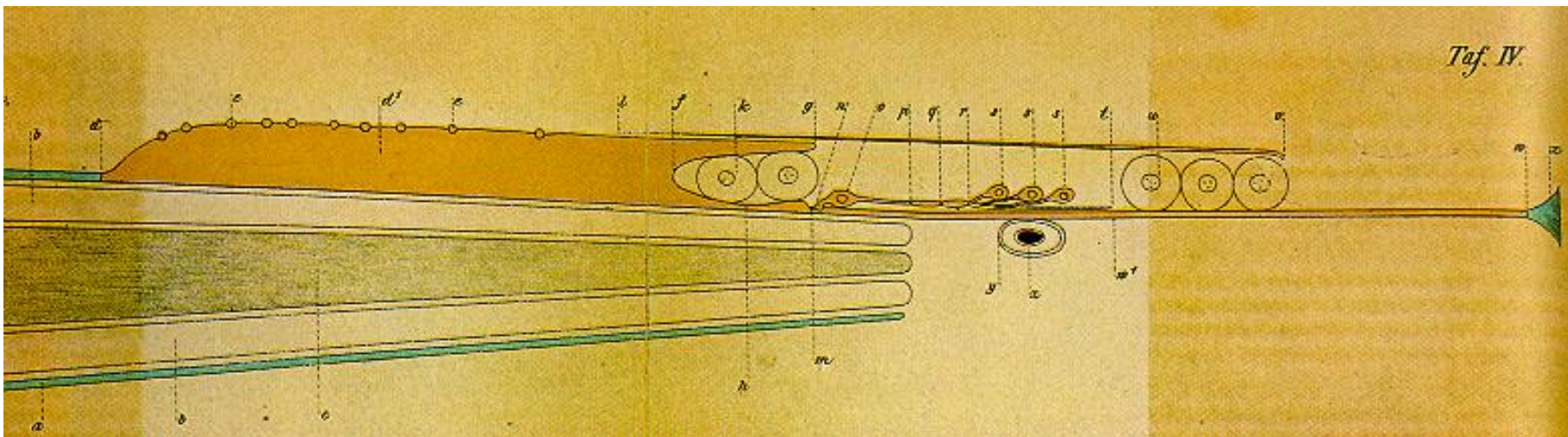


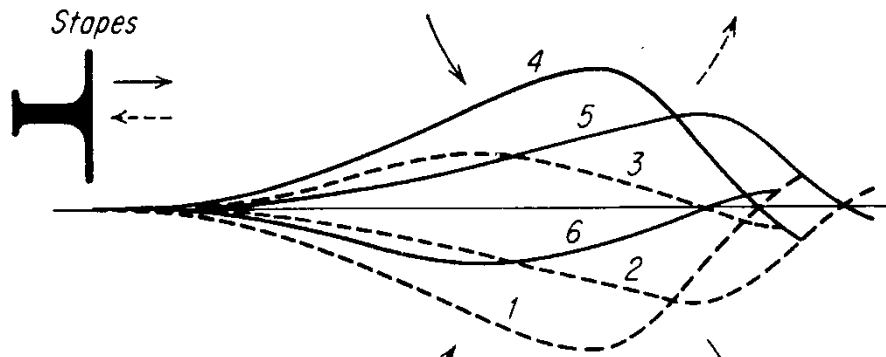
Hermann von Helmholtz
1821 - 1894

Das Corti-Organ (1851)

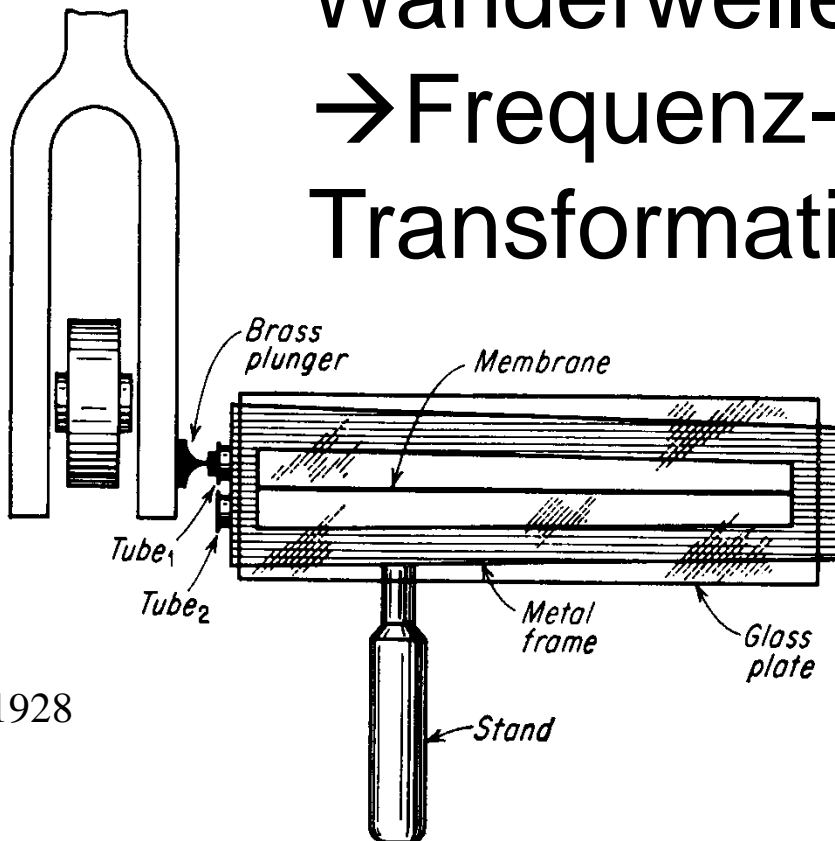


Alfonso Corti (1822 – 1876)





Wanderwellen
→ Frequenz-Orts-
Transformation



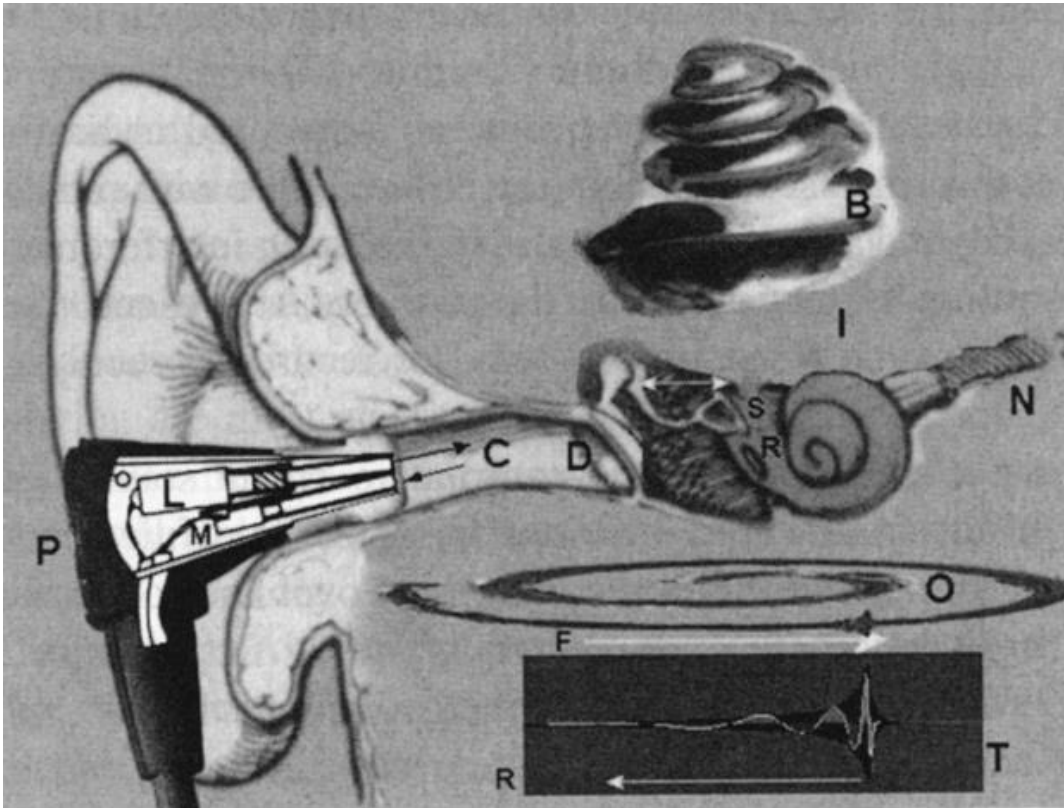
1928



Georg von Békésy
1899 - 1972

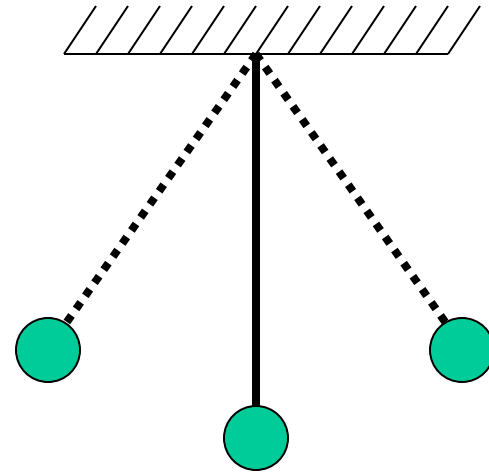
Nobel-Preis
für Medizin **1961**

Otoakustische Emissionen



**David Kemp
1978**

Was ist Schall ?



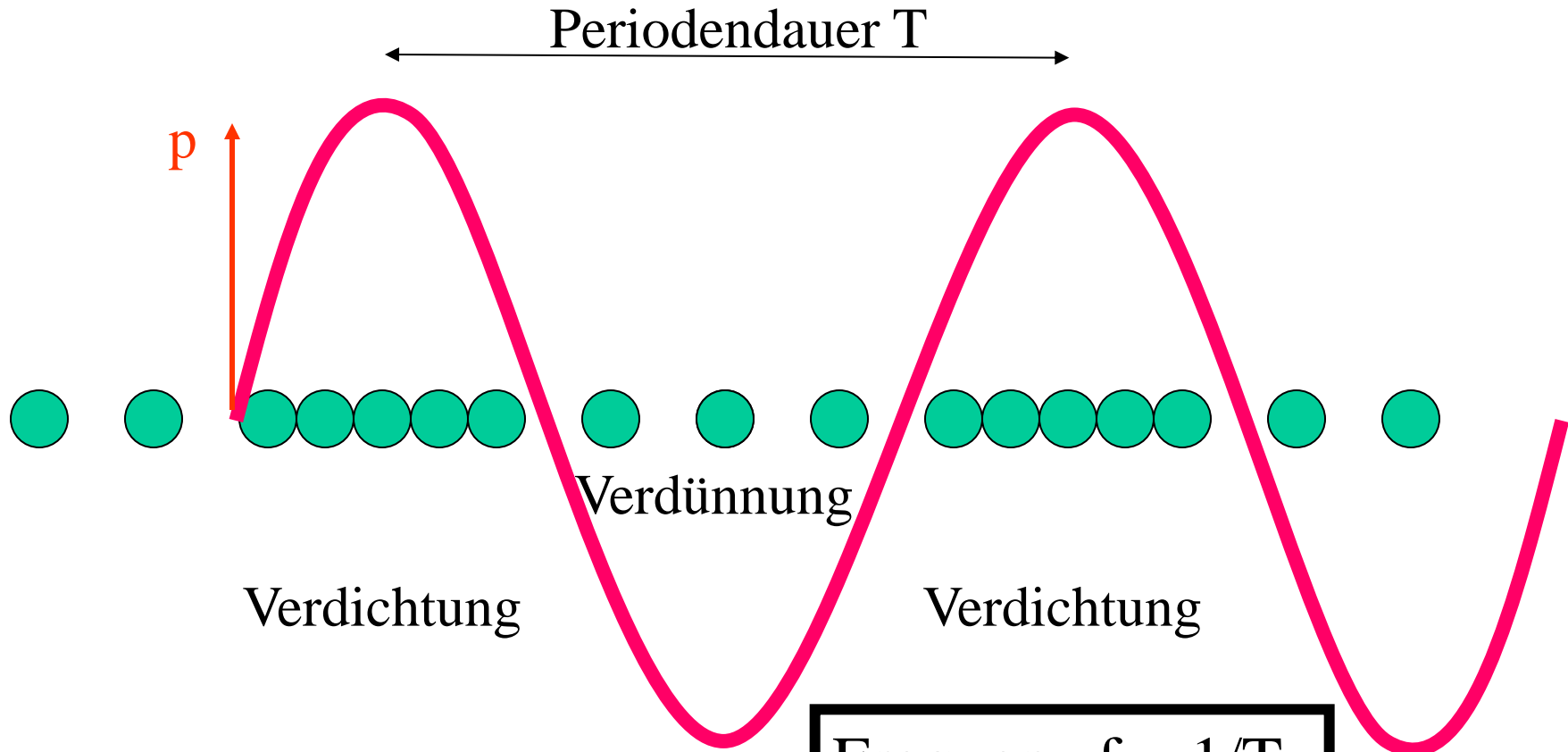
Hörbare Bewegung kleiner Teilchen in gasförmigen, flüssigen und festen Medien, die um ihre Ruhelage schwingen.

Stille



Luftmolekül

Frequenz f



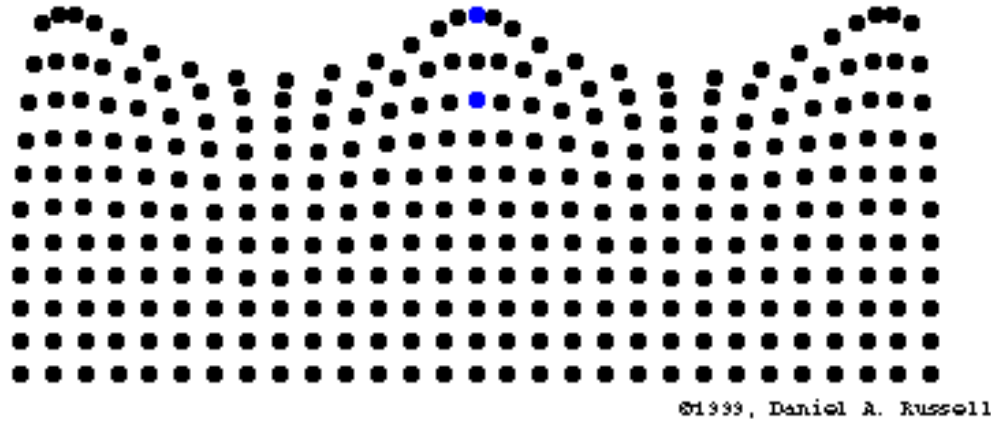
$$\text{Frequenz } f = 1/T$$

$$[1/\text{s} = \text{Hz}]$$

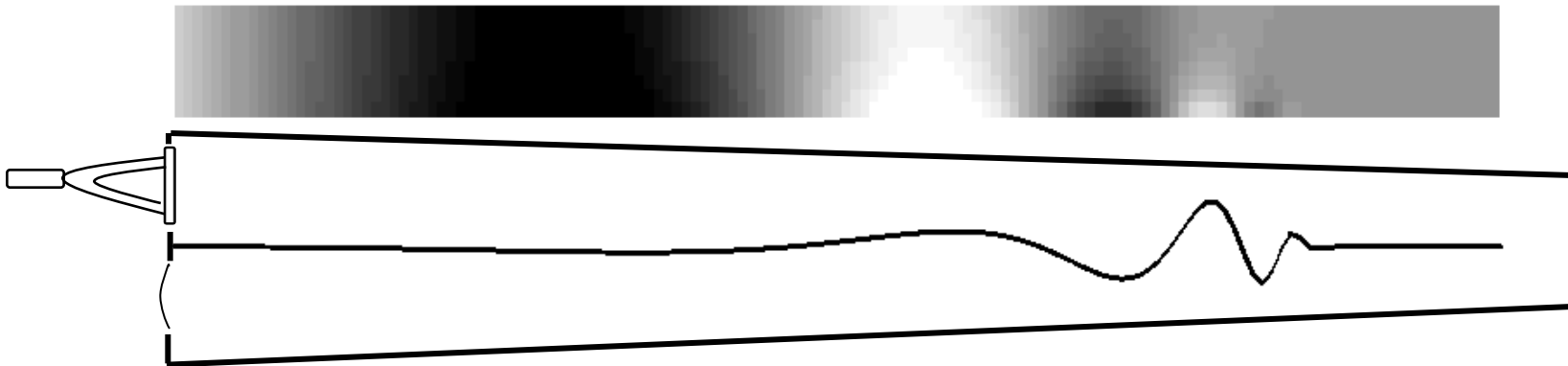
Anzahl der Schwingungen
pro Sekunde

Dynamisches Verhalten:

Teilchenverlauf bei einer Oberflächenwelle

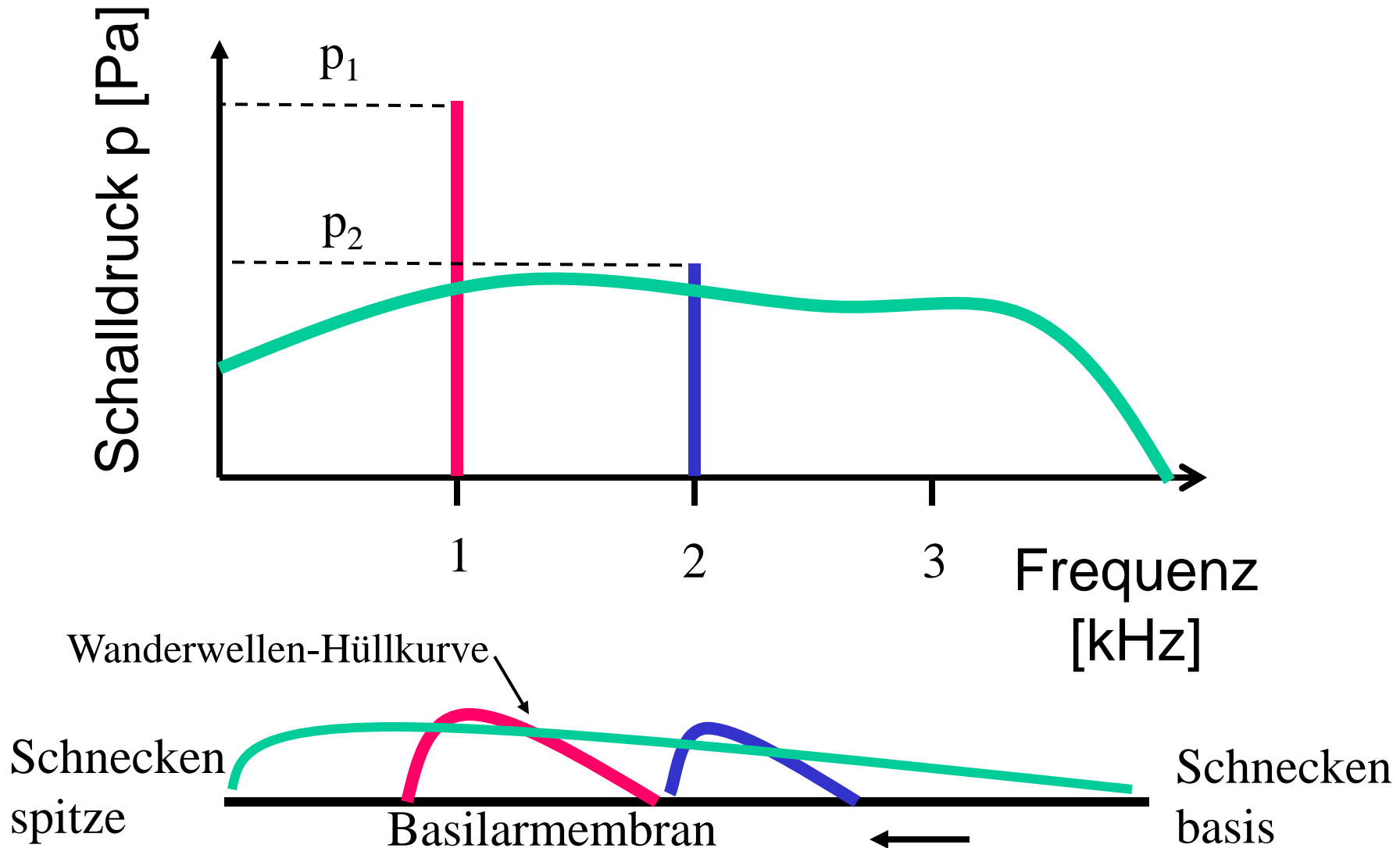


Critical-layer absorption (Lighthill, 1981)



<http://www.lloydwatts.com/1600mov2.gif>

Spektralfunktion Sinuston / Klick



Leistungen des Hörorgans

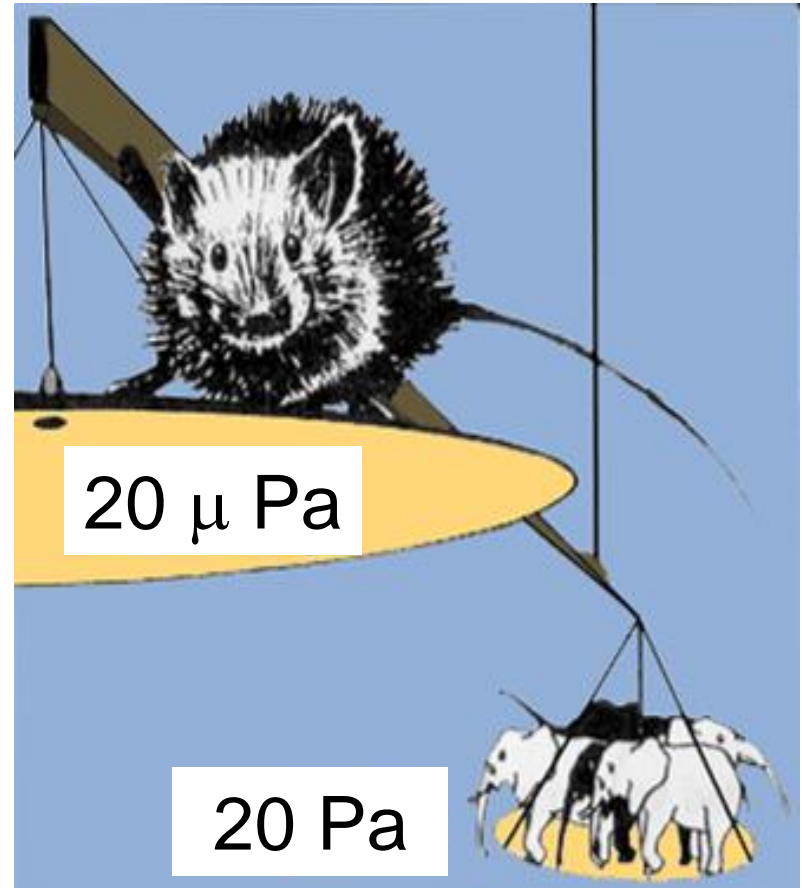
Hörbarer Schalldruck

Hörschwelle

$20 \mu \text{ Pa}$

Unbehaglichkeitsschwelle

20 Pa

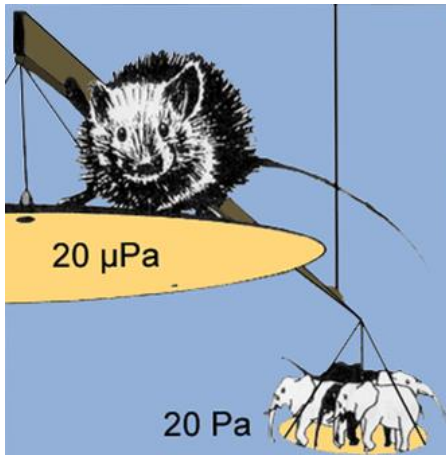


Schalldruck p [Pa]

Schalldruckpegel L [dBSPL]

$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

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



$$p_0 = 20 \times 10^{-6}$$

20

2

0,2

20×10^{-3}

20×10^{-4}

20×10^{-5}

130

Schmerzgrenze

120

Düsenflugzeug

110

100

Fabrik

90

80

Fahrgeräusche PKW

70

60

Umgangssprache (1m)

50

40

Wasser

30

20

Blätterrauschen

10

0

Hörschwelle (1 kHz)

-10

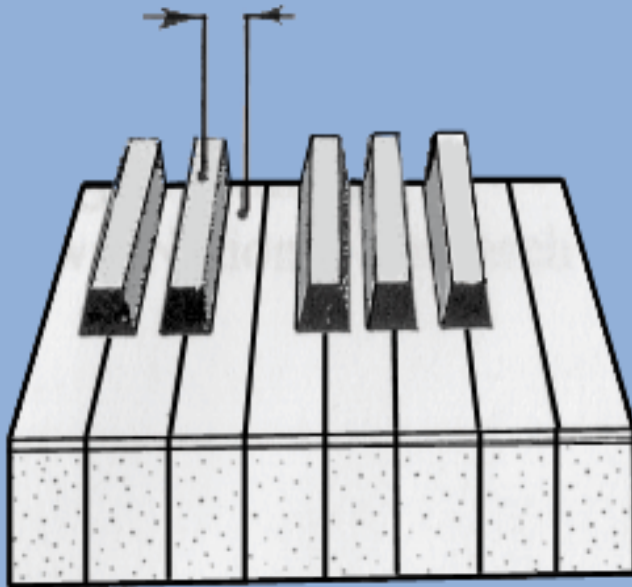
Frequenzauflösung

1000 Hz + Hintereinander

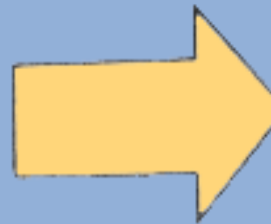


1002 1005 1010 2000 Hz

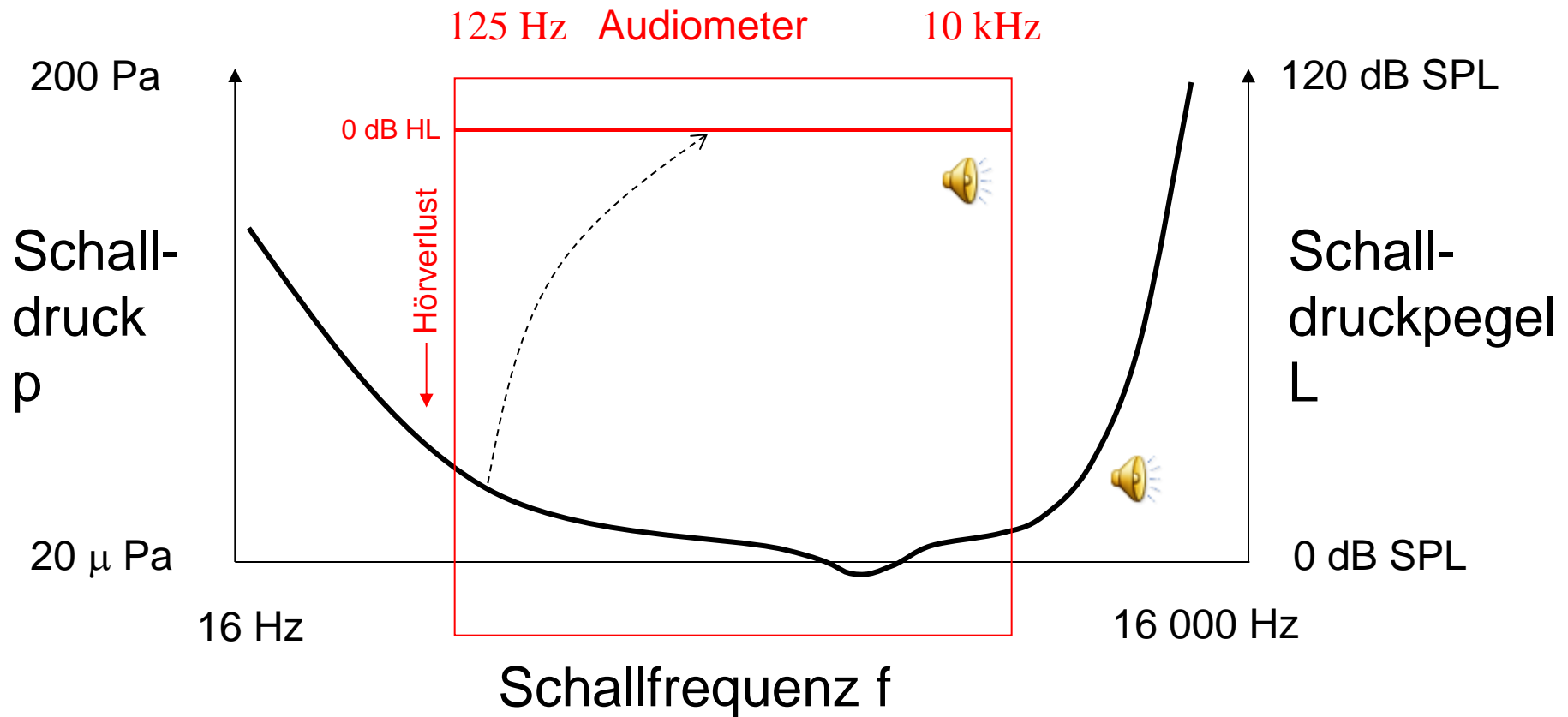
$\Delta f = 6\%$



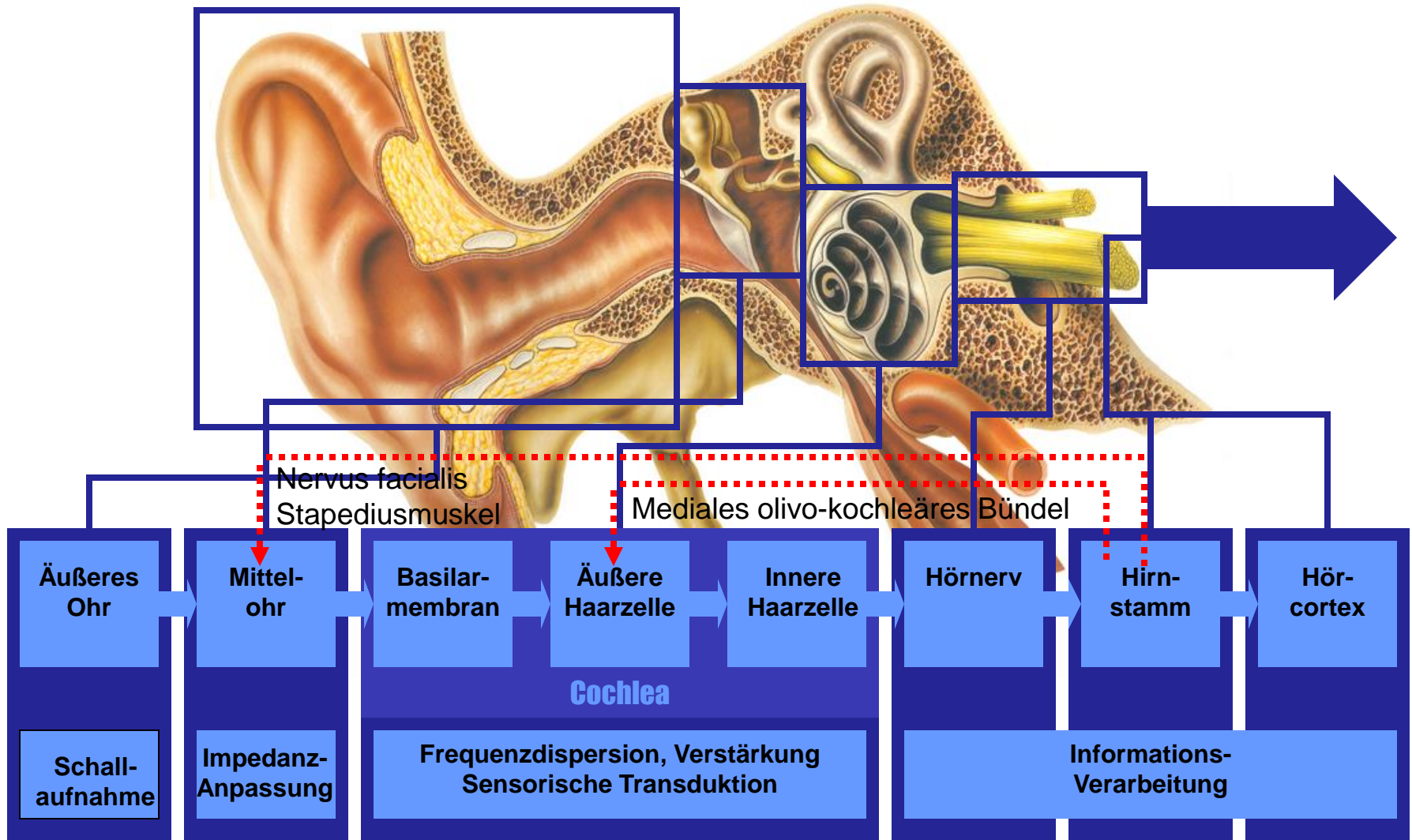
$\Delta f = 0.2\%$

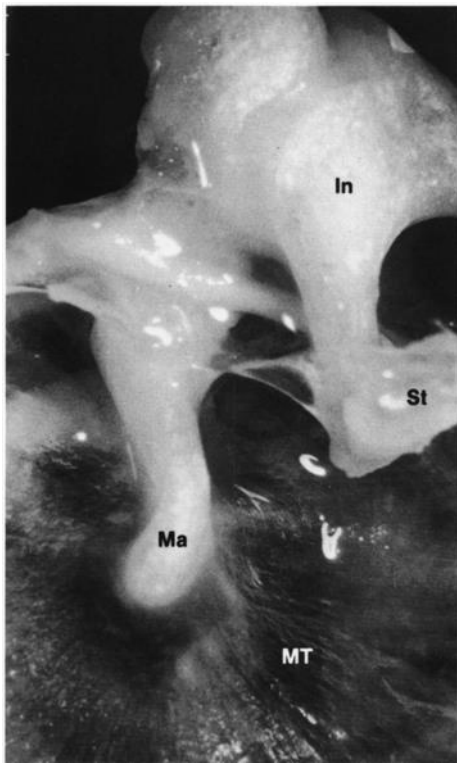


Hörschwelle

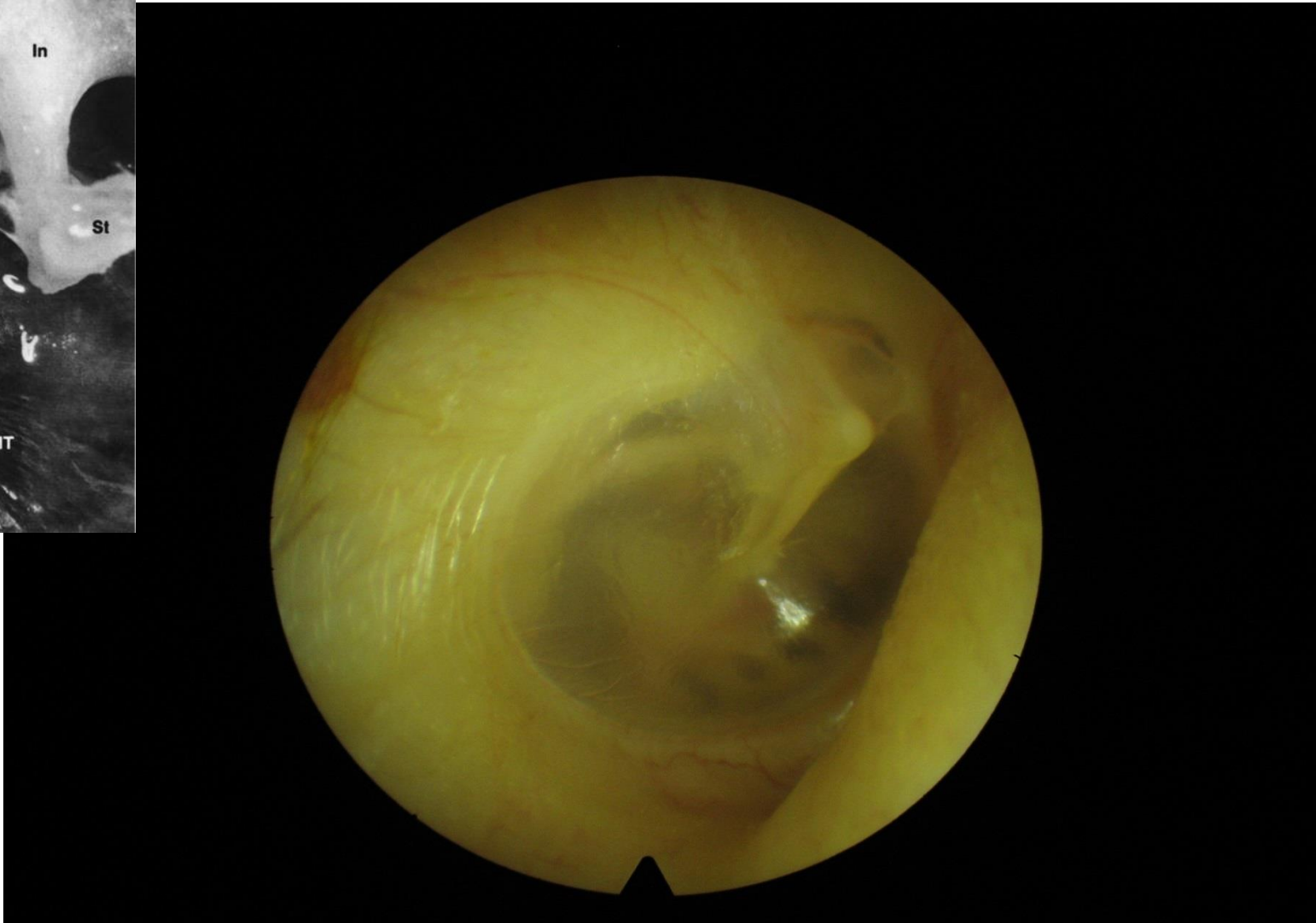


Funktionelle Organisation





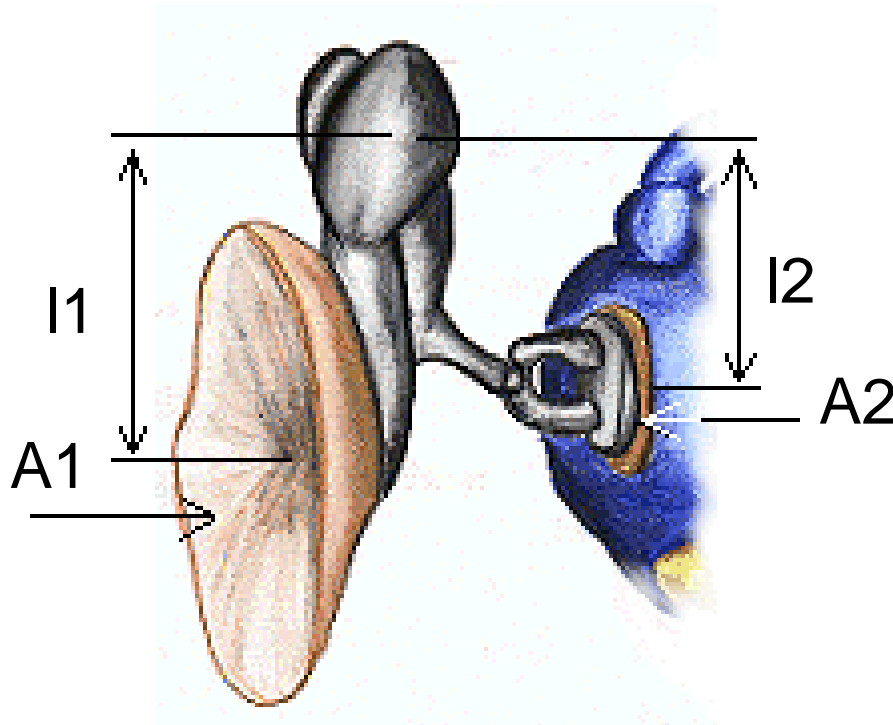
aus: Bildatlas
Innenohr,
Duphar
Pharma, 1983



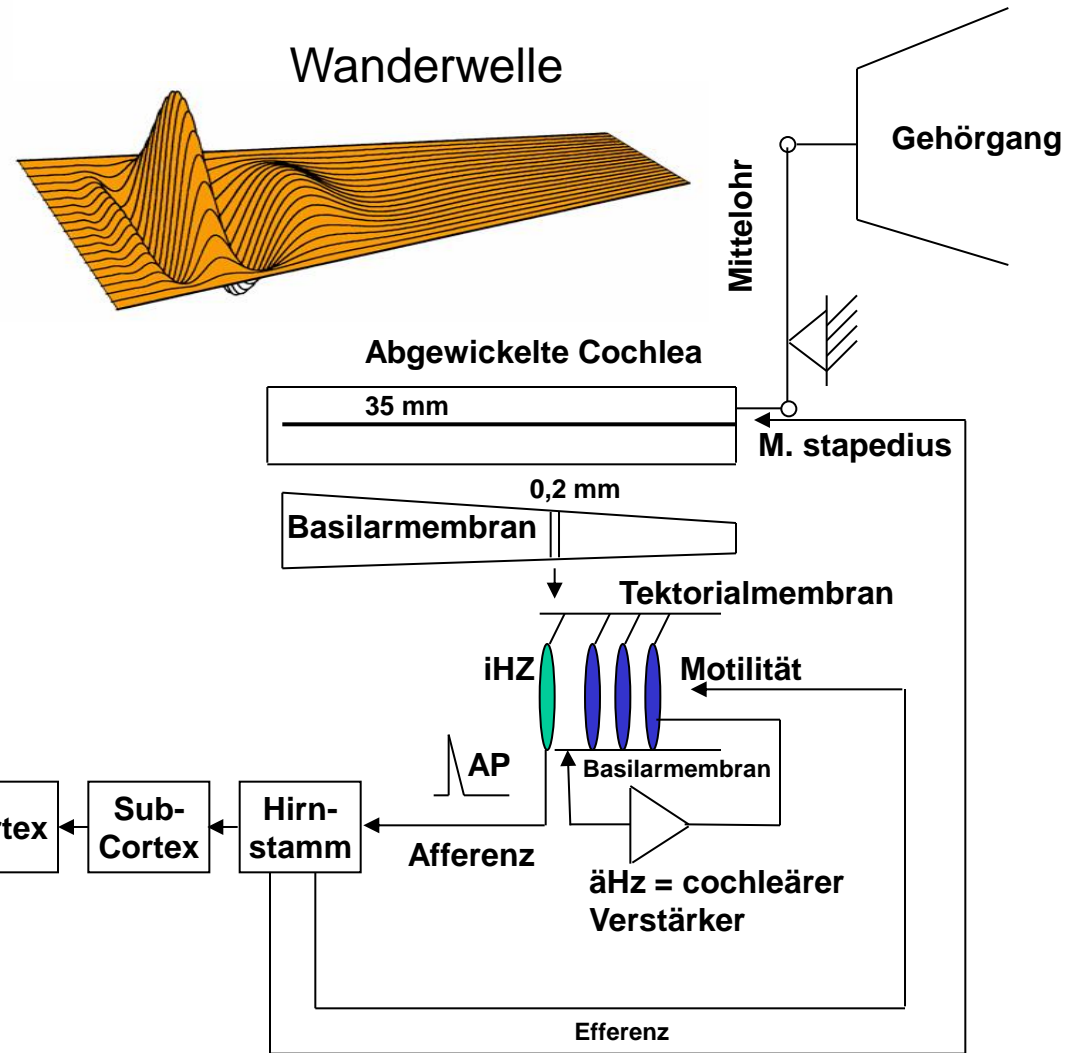
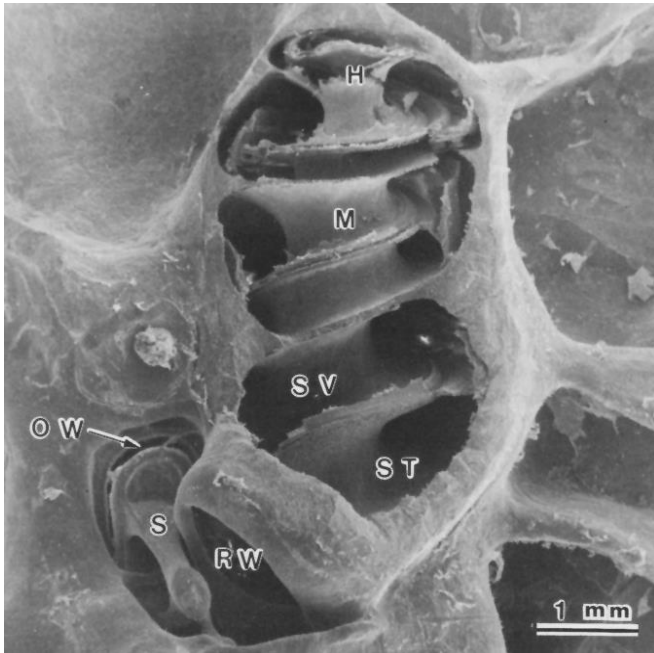
Trommelfell mit „Hammergriff“ und Lichtreflex

Mittelohr-Funktion

- Überträgt mechanische Schwingungen auf das Innenohr
- Passt den Widerstand der Luft an den Widerstand der Innenohrlymphe an → Druckerhöhung $p = F / A$

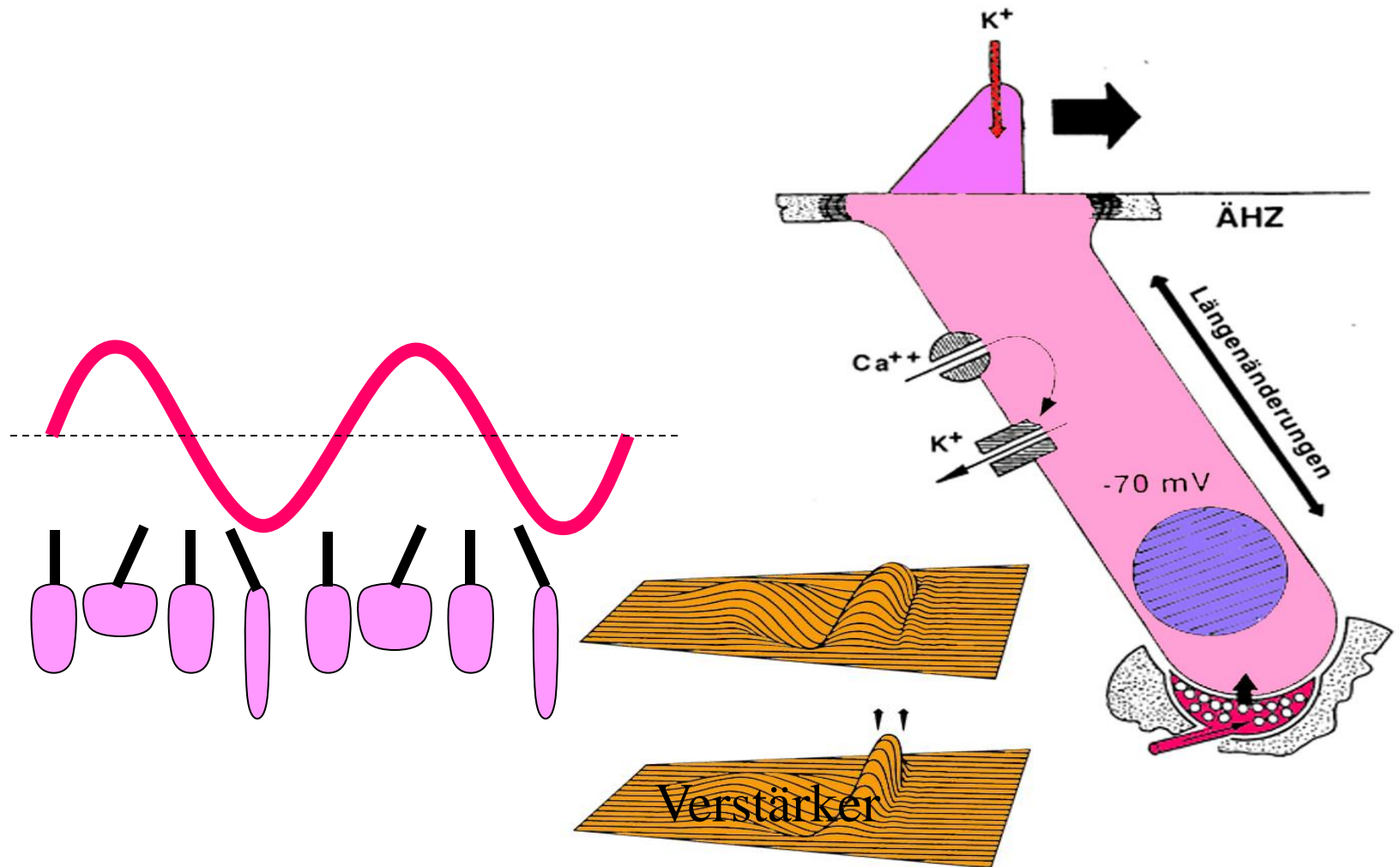


$A_1 / A_2 \approx 28$
Druckerhöhung



Mikromechanik → Schallverstärkung

Äußere Haarzelle **Schallverstärkung**



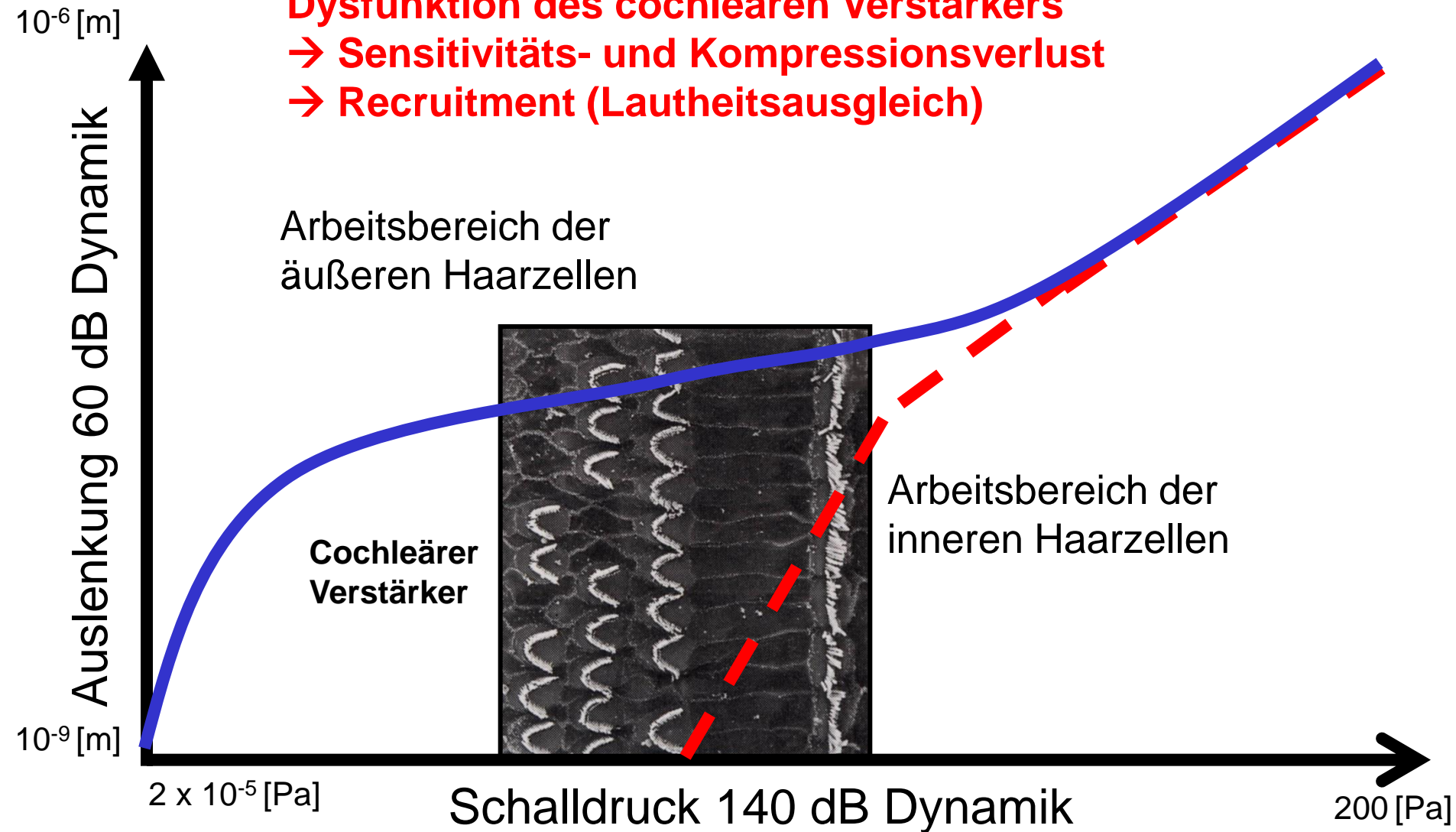
Äußere Haarzelle **Schallverstärkung**



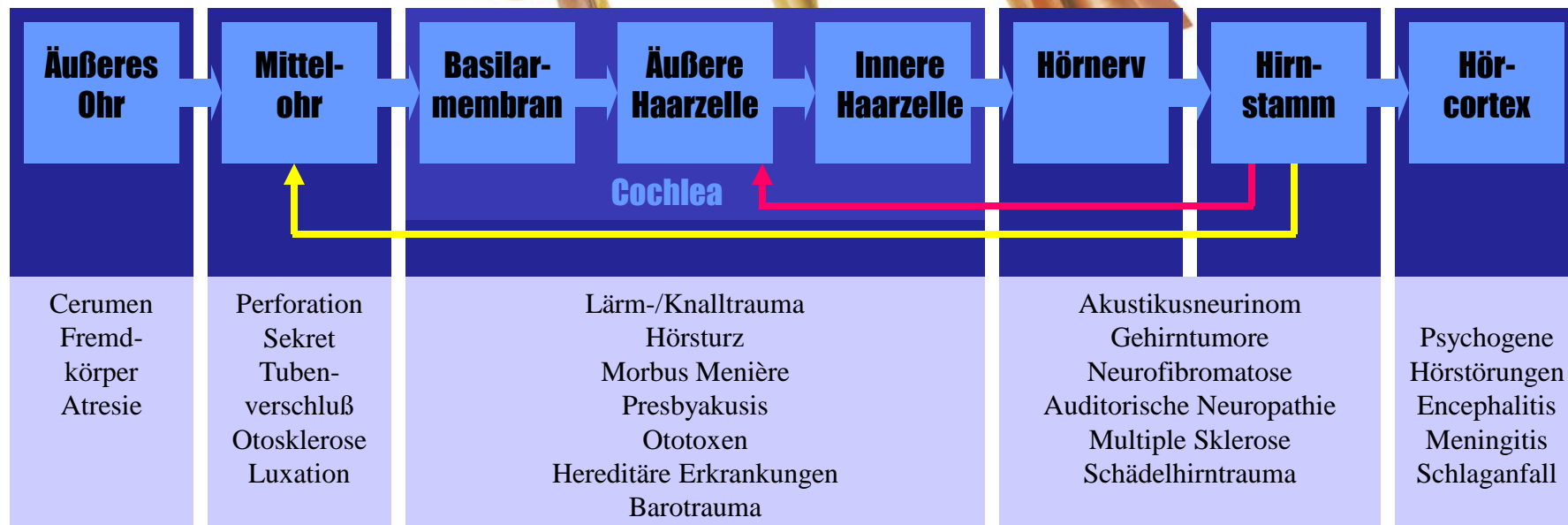
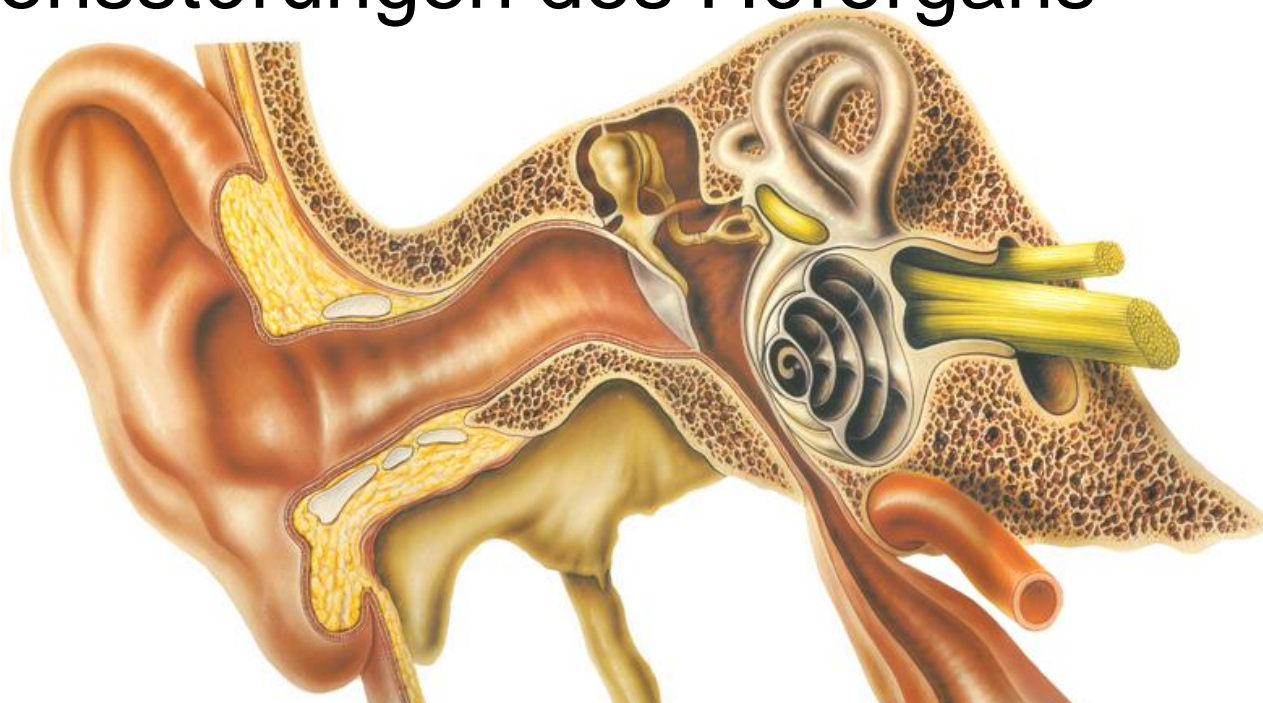
Rocking outer hair cells (Ashmore 1987)

Kompressive Nichtlinearität

Dysfunktion des cochleären Verstärkers
→ Sensitivitäts- und Kompressionsverlust
→ Recruitment (Lautheitsausgleich)



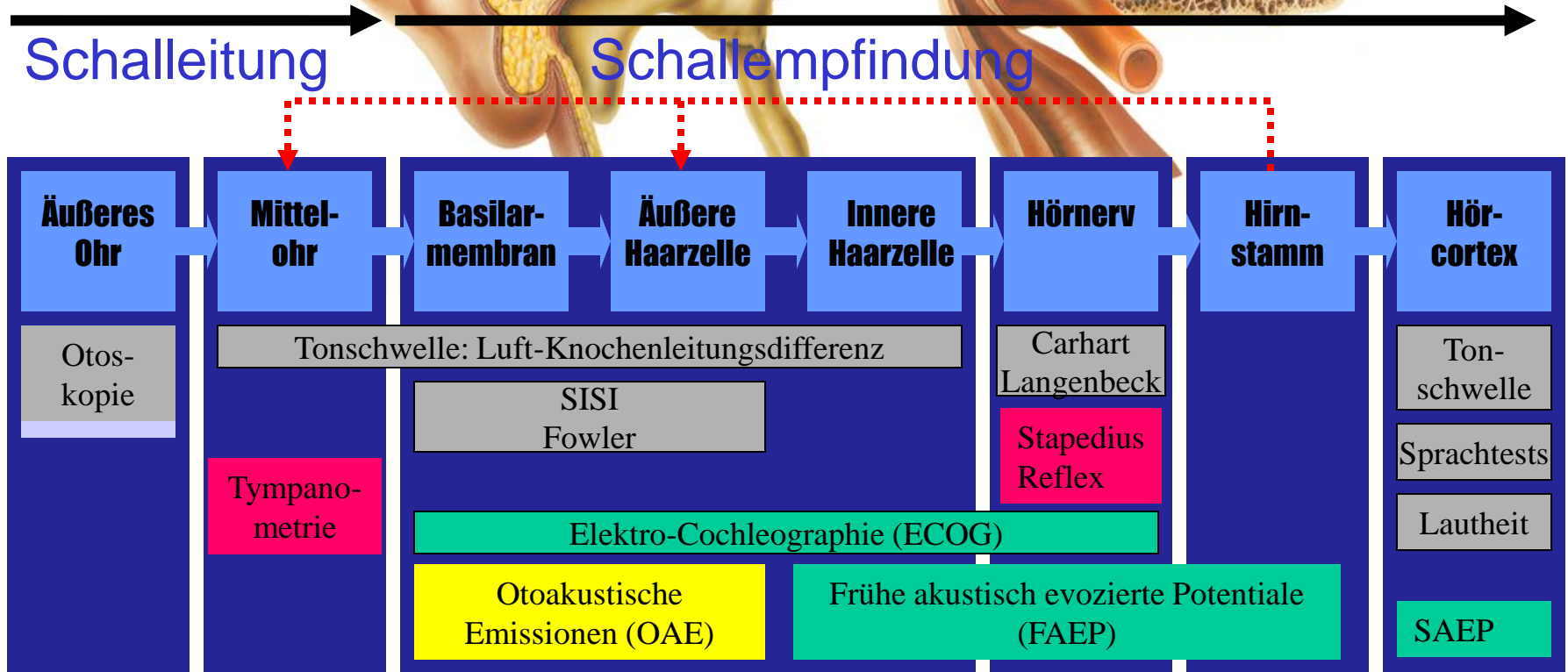
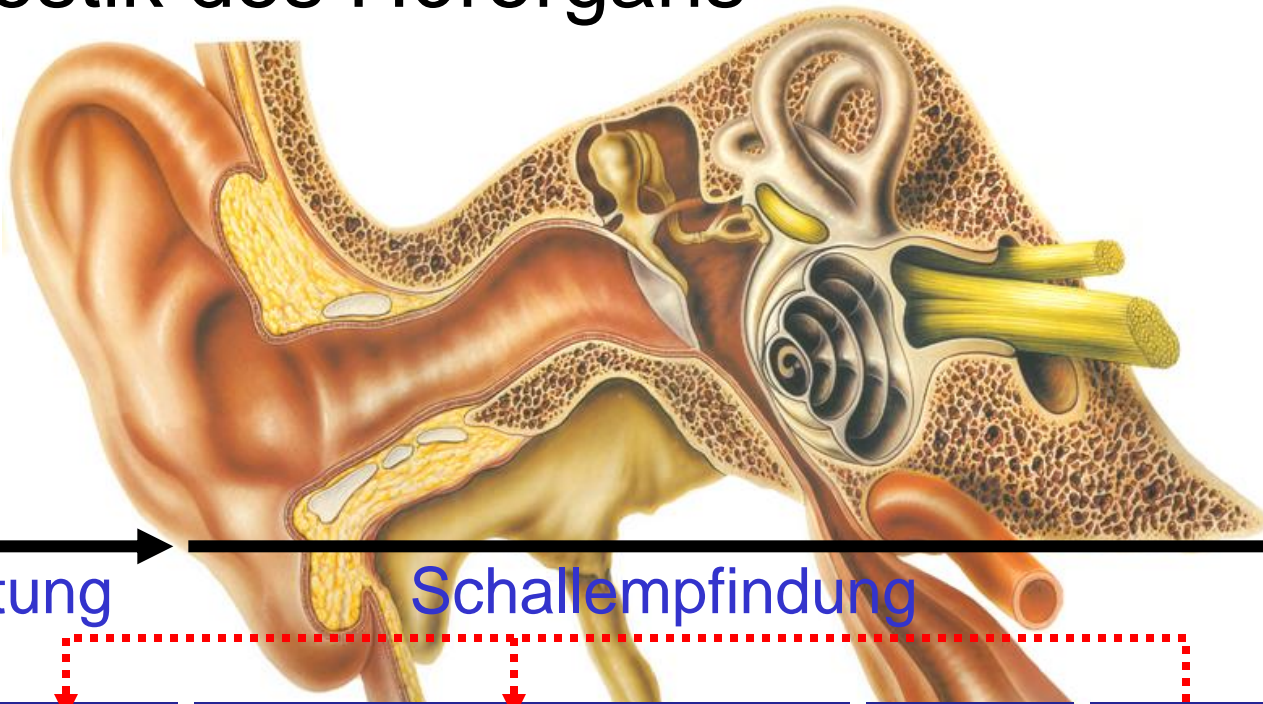
Funktionsstörungen des Hörorgans



Schwerhörigkeit



Diagnostik des Hörorgans



Hörprüfungsmethoden

- „Subjektive“ Verfahren

- Stimmgabelprüfung
- Hörweitenprüfung
- Tonschwellenaudiometrie
- Überschwellige Audiometrie (Rekruitment, Lautheitsausgleich)
- Sprachaudiometrie
- Spielaudiometrie

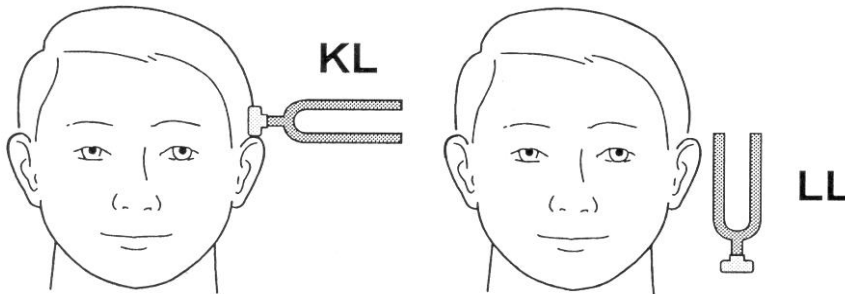
- „Objektive“ Verfahren

- Trommelfell-Impedanzmessung (Tympanometrie)
- Otoakustische Emissionen (OAE)
- Akustisch evozierte Potentiale (speziell B-ERA)

Stimmgabelprüfung

Rinne-Test

„Was ist lauter,
hinter oder vor dem Ohr?“



Normales Mittelohr

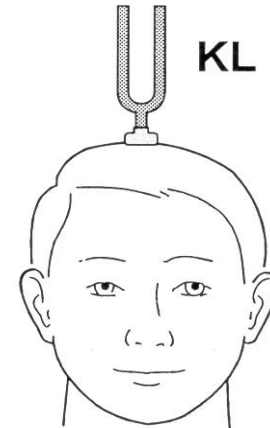
LL lauter als KL
„Rinne positiv“

Mittelohrhörverlust

KL lauter als LL
„Rinne negativ“

Weber-Test

„Auf welcher Seite
ist der Ton zu hören?“



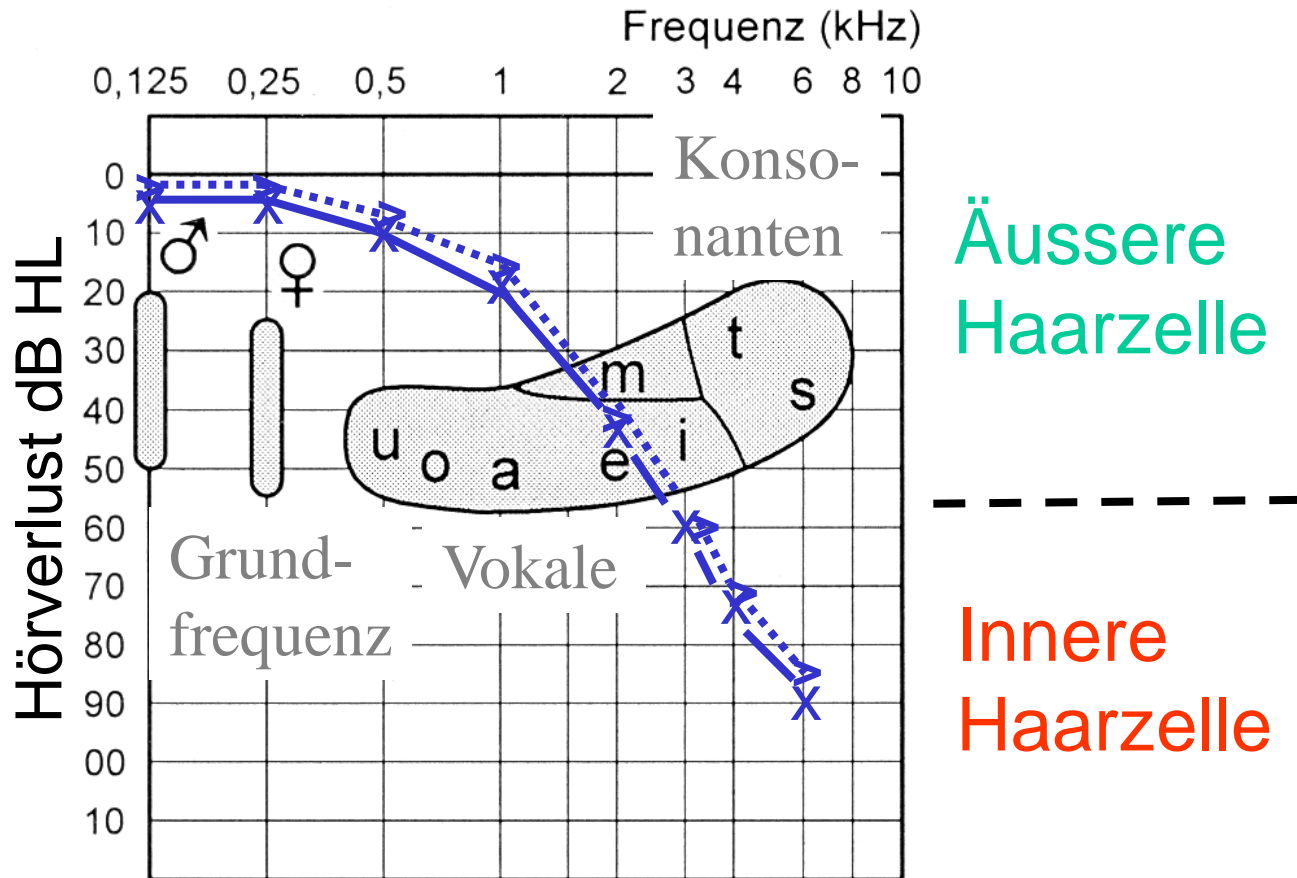
Ton auf der Seite des
besseren Innenohres

Ton auf der Seite des
schlechteren Mittelohres

! Tonschwellenaudiometrie
→ gegenüberliegendes Ohr
vertäuben damit der Prüftön
auf diesem Ohr nicht hörbar wird



Tonschwellenaudiogramm

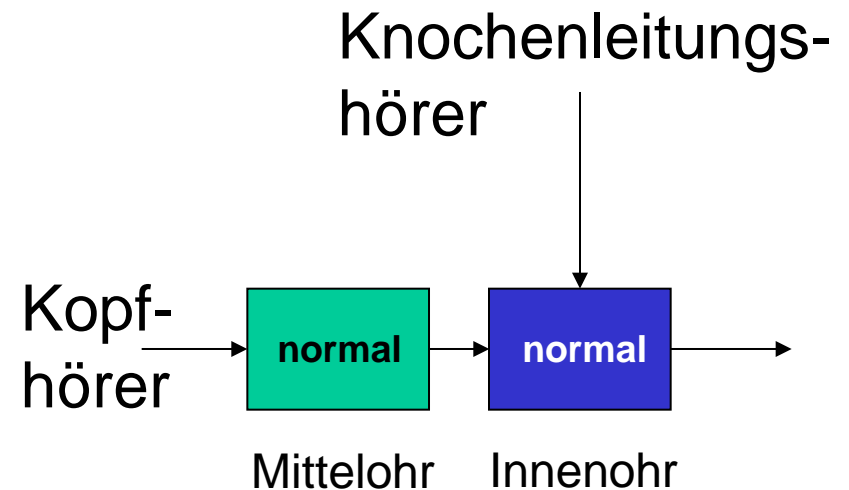
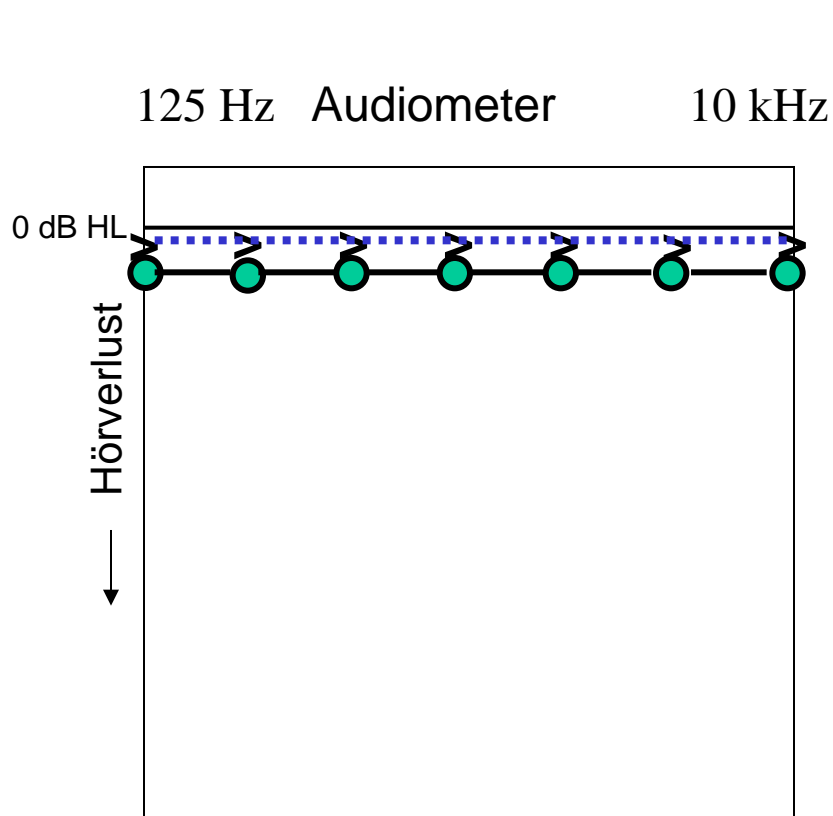


Sprachfeld.

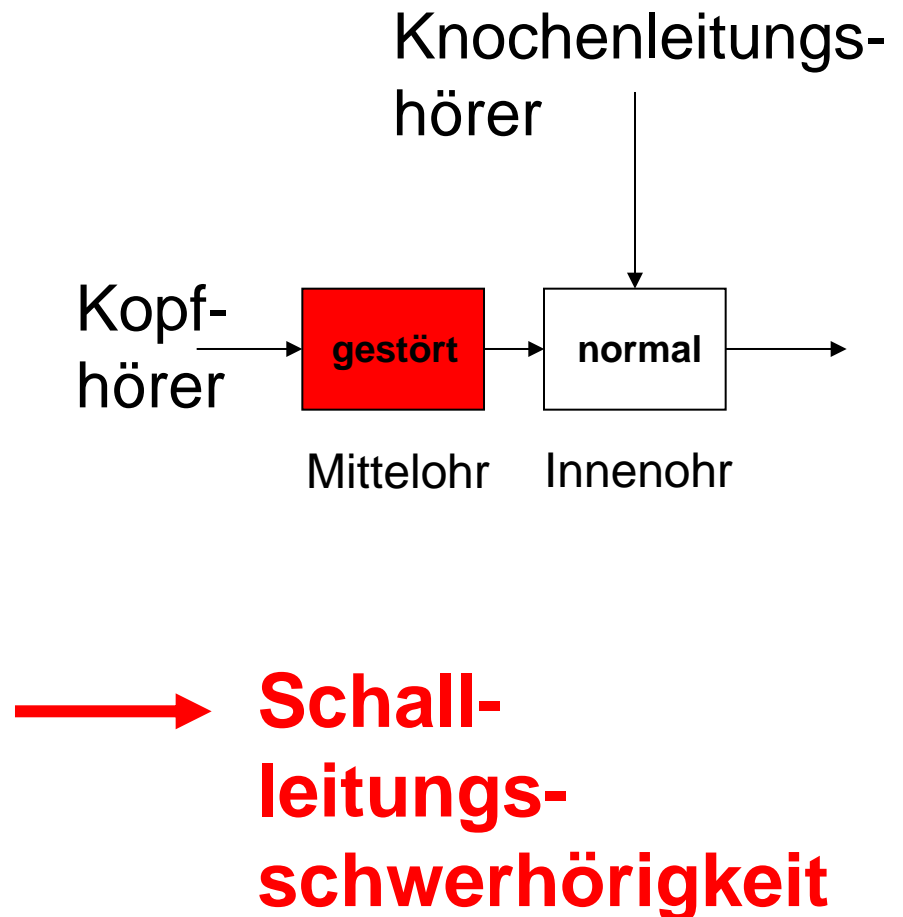
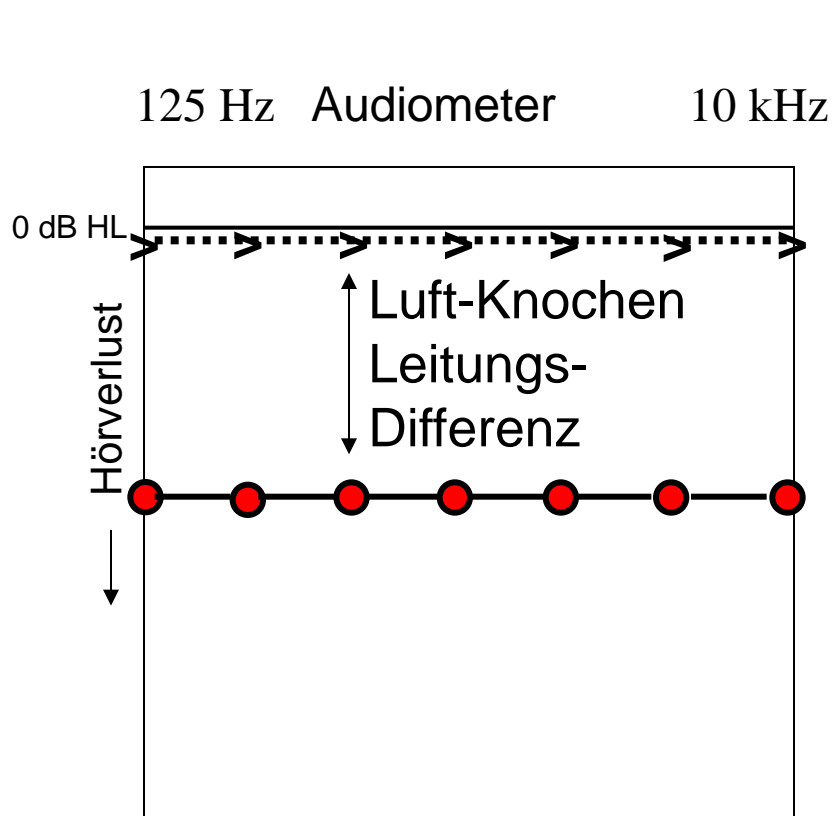
!

500 Hz – 8 kHz

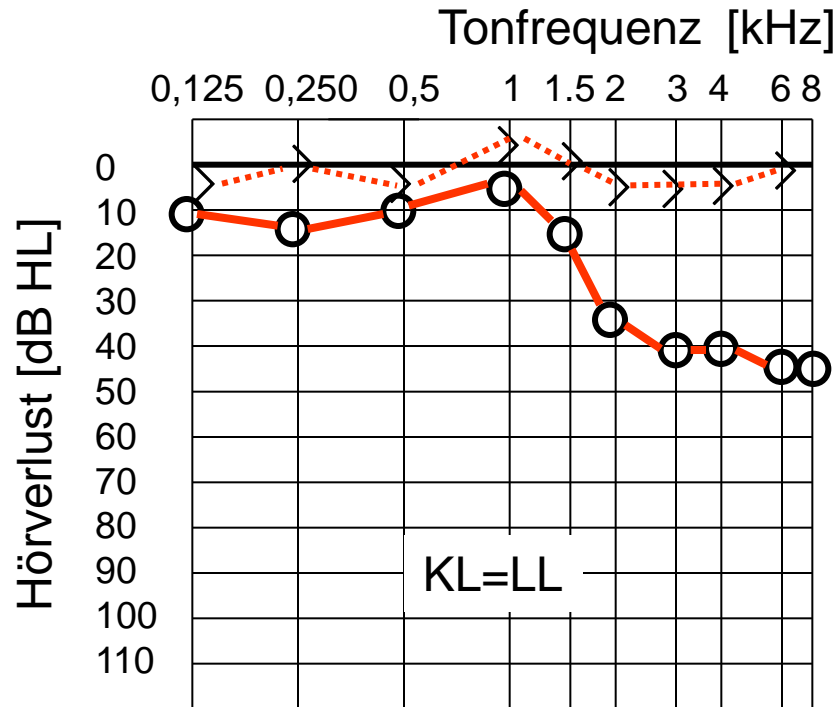
Tonschwelle in Luft und Knochen



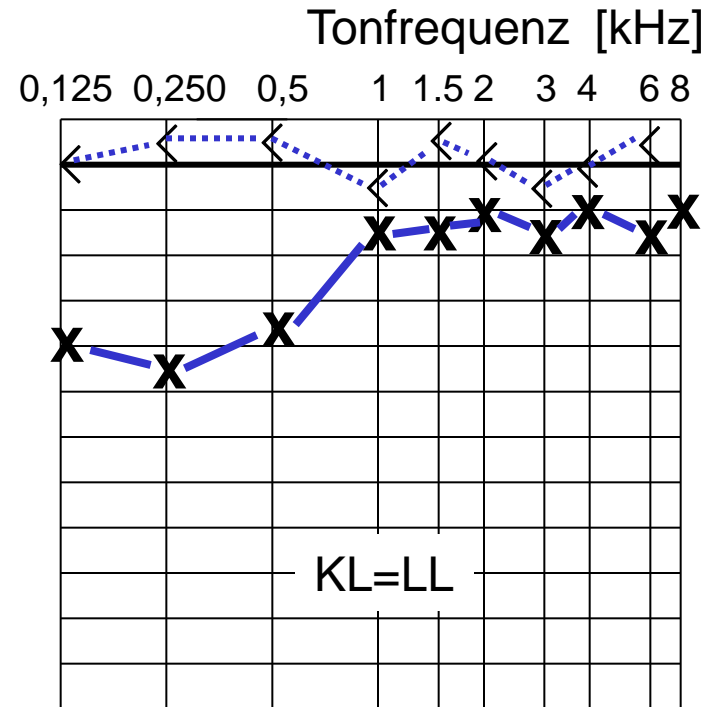
Tonschwelle in Luft und Knochen



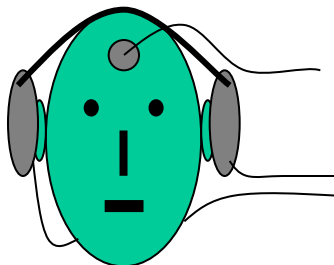
Schallleitungsschwerhörigkeit



Paukenhöhlenerguss



Otosklerose



Knochenleitungshörer (KL)

Luftleitungshörer (LL)

r. Ohr

l. Ohr

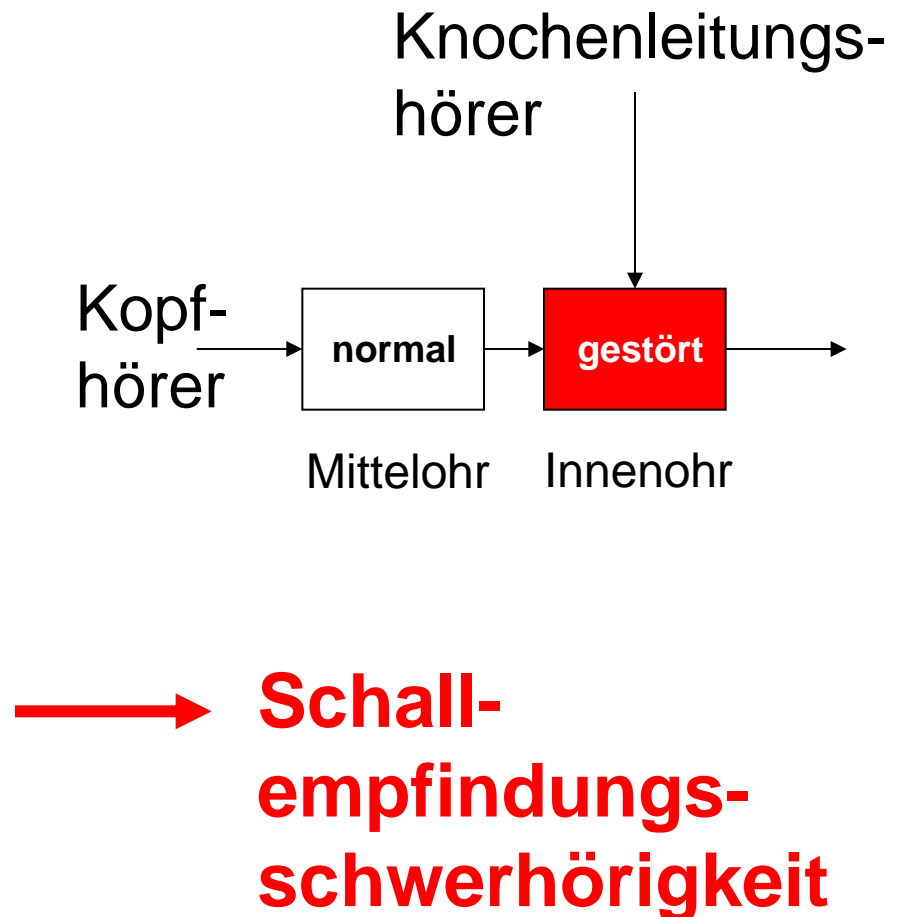
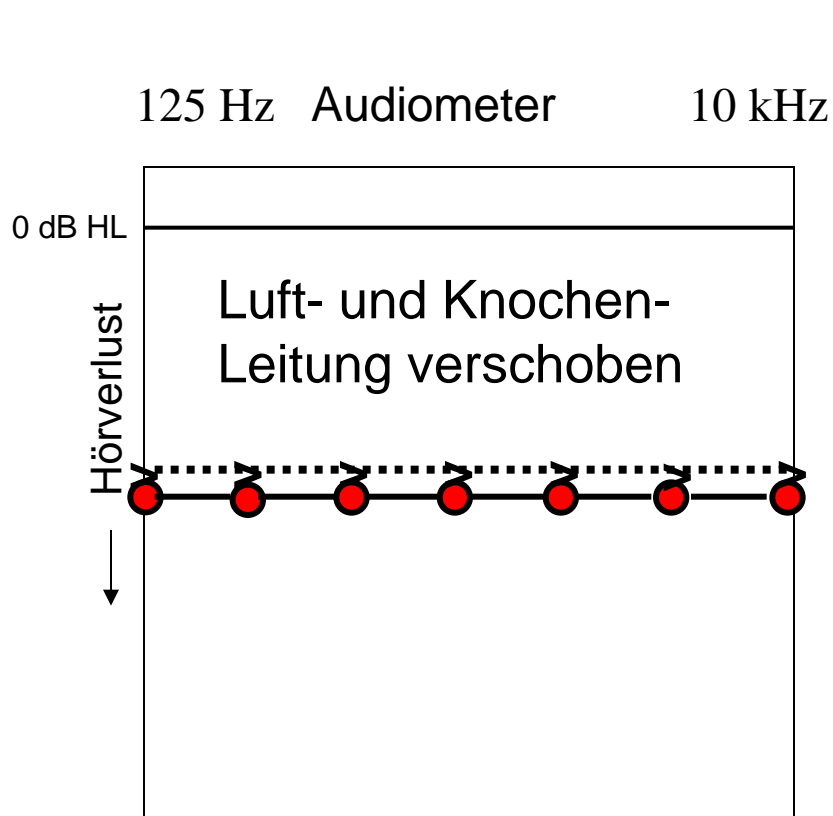
>....>

<....<

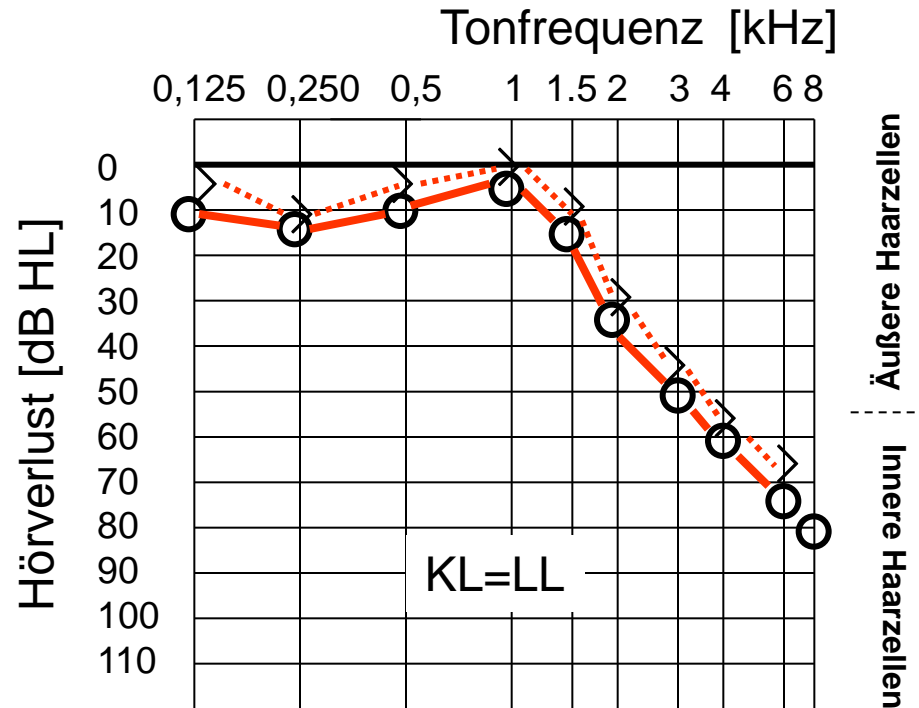
○—○

x—x

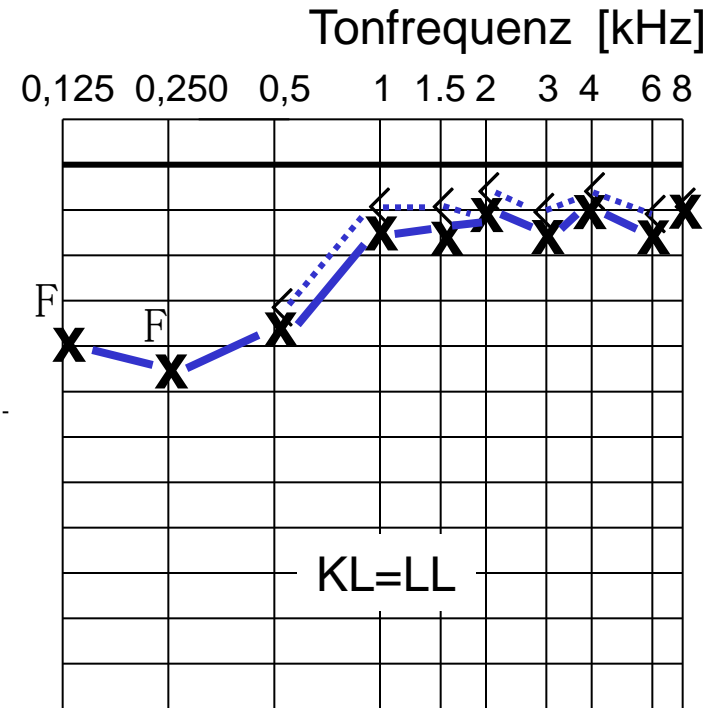
Tonschwelle in Luft und Knochen



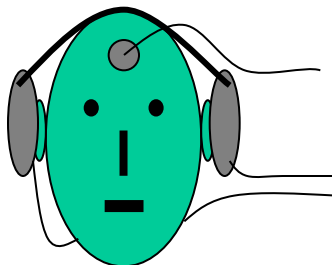
Schallempfindungsschwerhörigkeit



Lärmschwerhörigkeit



Morbus Menière



Knochenleitungshörer (KL)

Luftleitungshörer (LL)

r. Ohr

l. Ohr

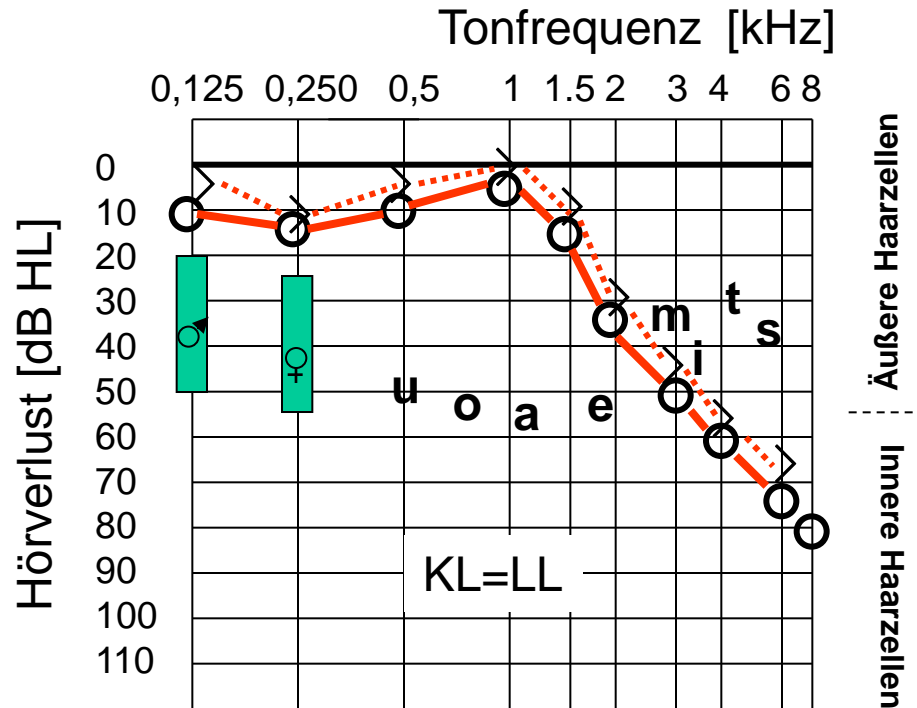
>...>

<...<

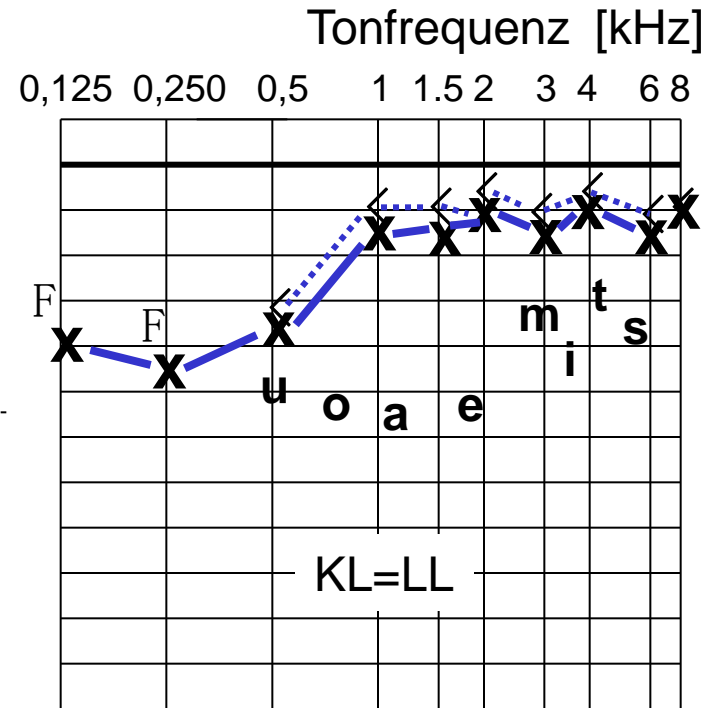
○—○

x—x

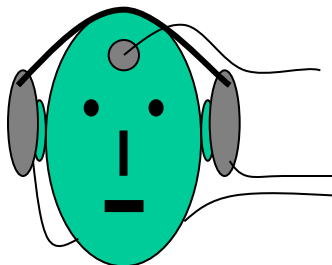
Schallempfindungsschwerhörigkeit



Lärmschwerhörigkeit



Morbus Menière



Knochenleitungshörer (KL)

Luftleitungshörer (LL)

r. Ohr

l. Ohr

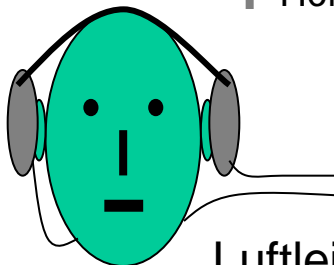
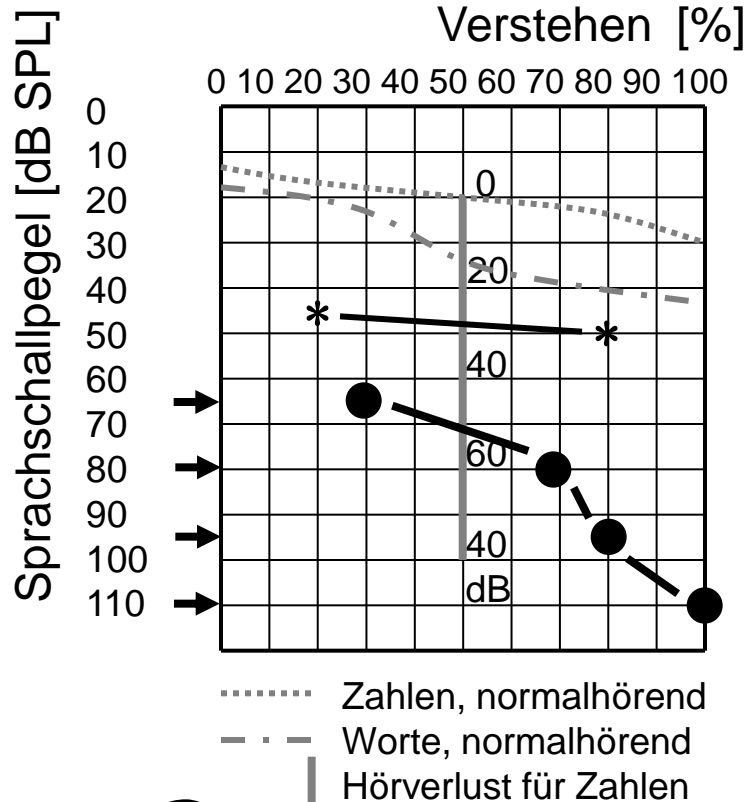
>...>

<...<

○—○

x—x

Sprachaudiogramm (Freiburger, DIN 45621)



Luftleitungshörer (LL)

10 Zweistellige Zahlen (10 Gruppen)

- 98 22 54 19 86 71 35 47 80 63
- 53 14 39 68 57 90 85 33 72 46

Startschallpegel 25 dB über Hörschwelle bei 500 Hz, dann Startschallpegel +5 dB

20 Einsilbige Worte (20 Gruppen)

- Ring Spott Farm Hang Geist Zahl Hund ...
- Holz Ruß Mark Stein Glied Fleck Busch ...

Startschallpegel 65 dB, dann +15 dB bis 100% Verstehen erreicht wird.

(bei Lärmgutachen: Startpegel 60 dB, dann +20 dB bis 100% Verstehen erreicht wird.)

Ergebnis:

Hörverlust für Zahlen: 28 dB

Maximale Einsilberverständlichkeit: 100%

Oldenburger Satztest OLSA

Katja kauft fünf rote Autos

Name Verb Zahl Adj. Subst.

Oldenburger Kinder-Satztest OLKISA



im „Störgeräusch“
anwendbar

Hörgeräte Anp.
Cochlea Impl.
Diagnostik

Quelle:
HörTech
gGmbH

Altersschwerhörigkeit

Abnahme des Hörvermögens bei hohen Frequenzen

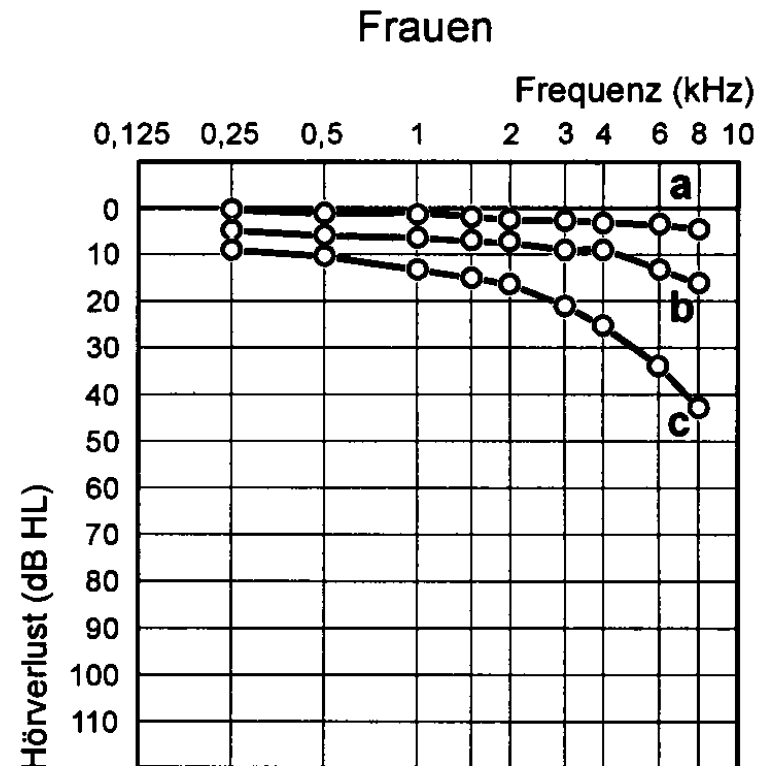
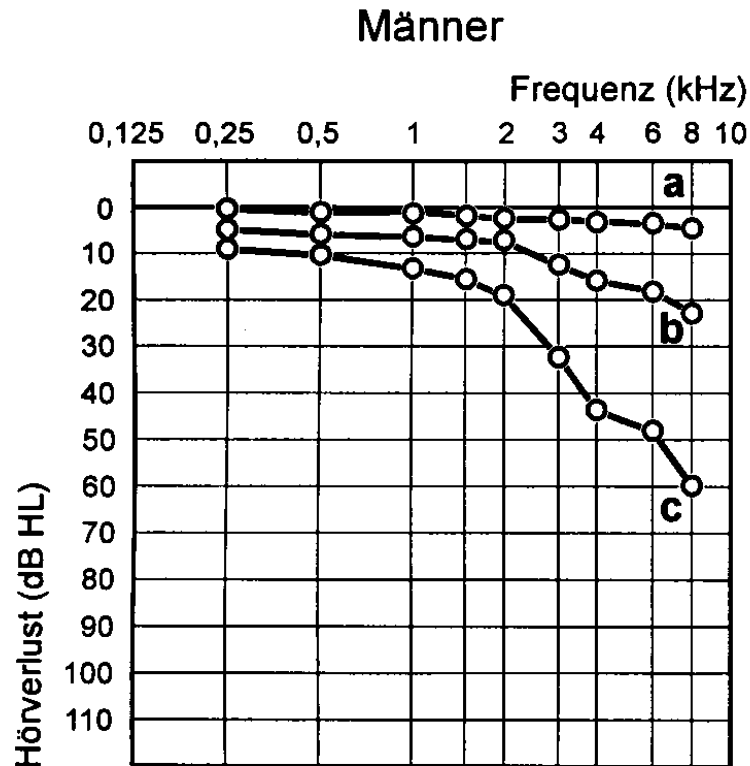
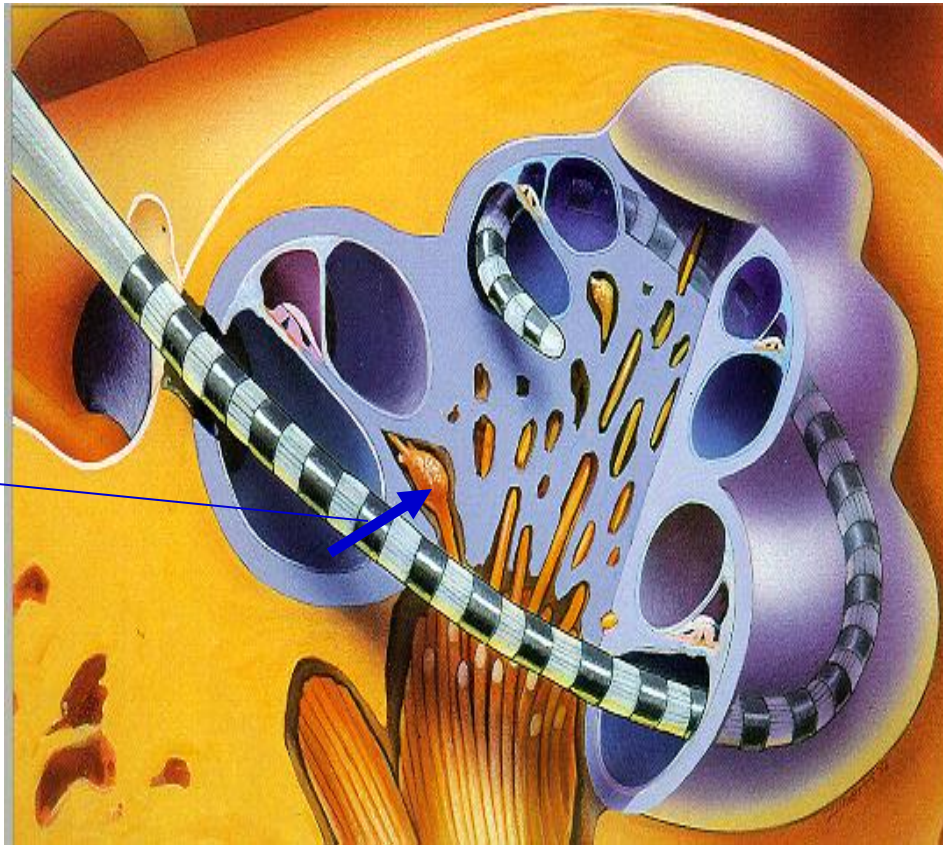


Abb. 3.5 Luftleitungshörschwelle in Abhängigkeit von Alter (a: 30; b: 50; c: 70 Jahre) und Geschlecht otologisch normaler Personen nach ISO 7029. Die dargestellten Schwellen werden in den Altersgruppen von 50 % der Personen überschritten.

Cochlea-Implantate sind elektronische Hörprothesen zum Ersatz der ausgefallenen Innenohrfunktion (bisher über 300.000 weltweit)

**„Elektrisches Hören“
durch
elektrische
Stimulation**

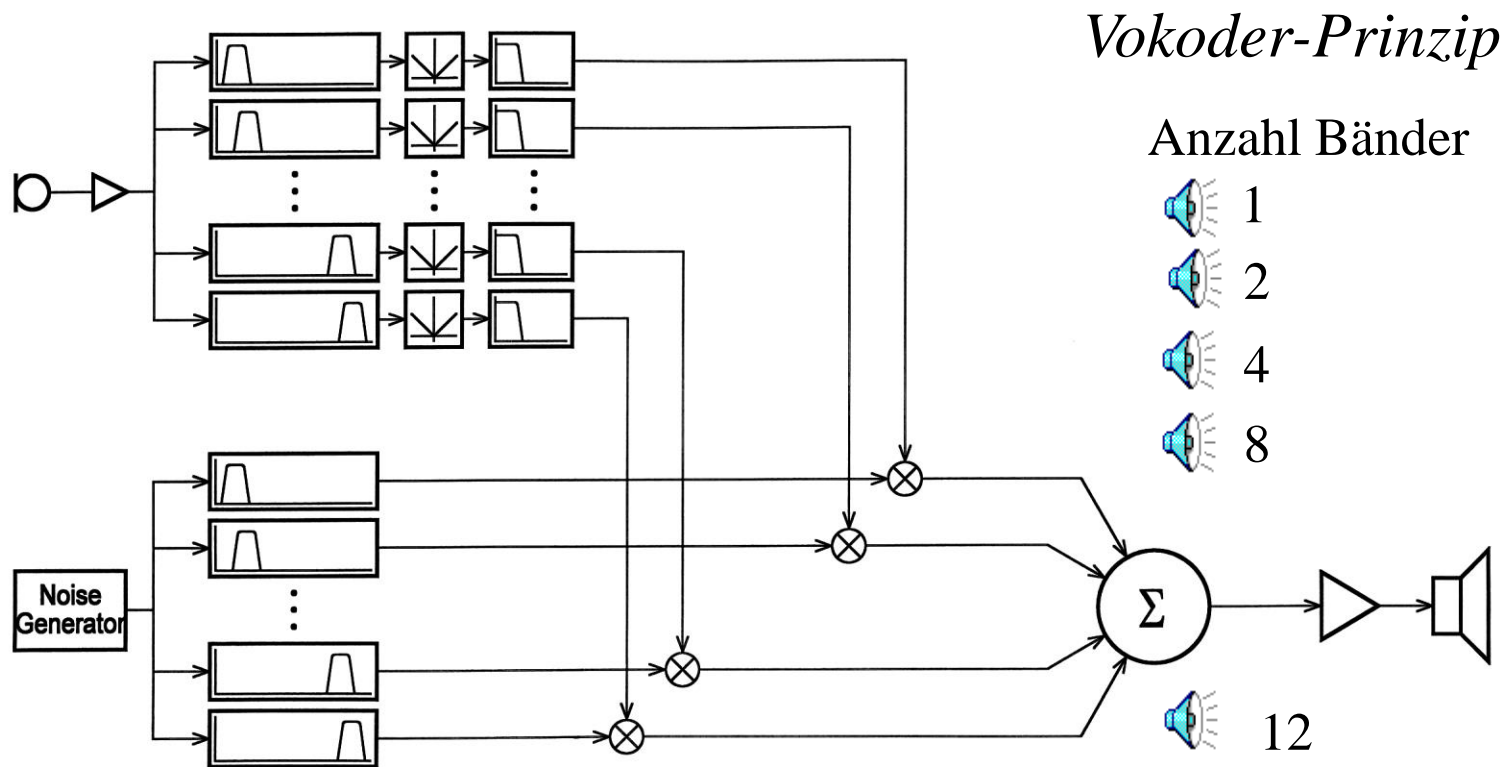


für Deutschland :

**10 000 Neugeb.
30 versb. Hörsch.
6 sollten CI erh.**

Bei beidseitiger Ertaubung nach bakterieller Meningitis sollten in der Regel schnellstmöglich Cochlea Implantationen beidseits erfolgen

Rausch-Vokoder: Variation Kanalzahl



„Neuroplastizität“

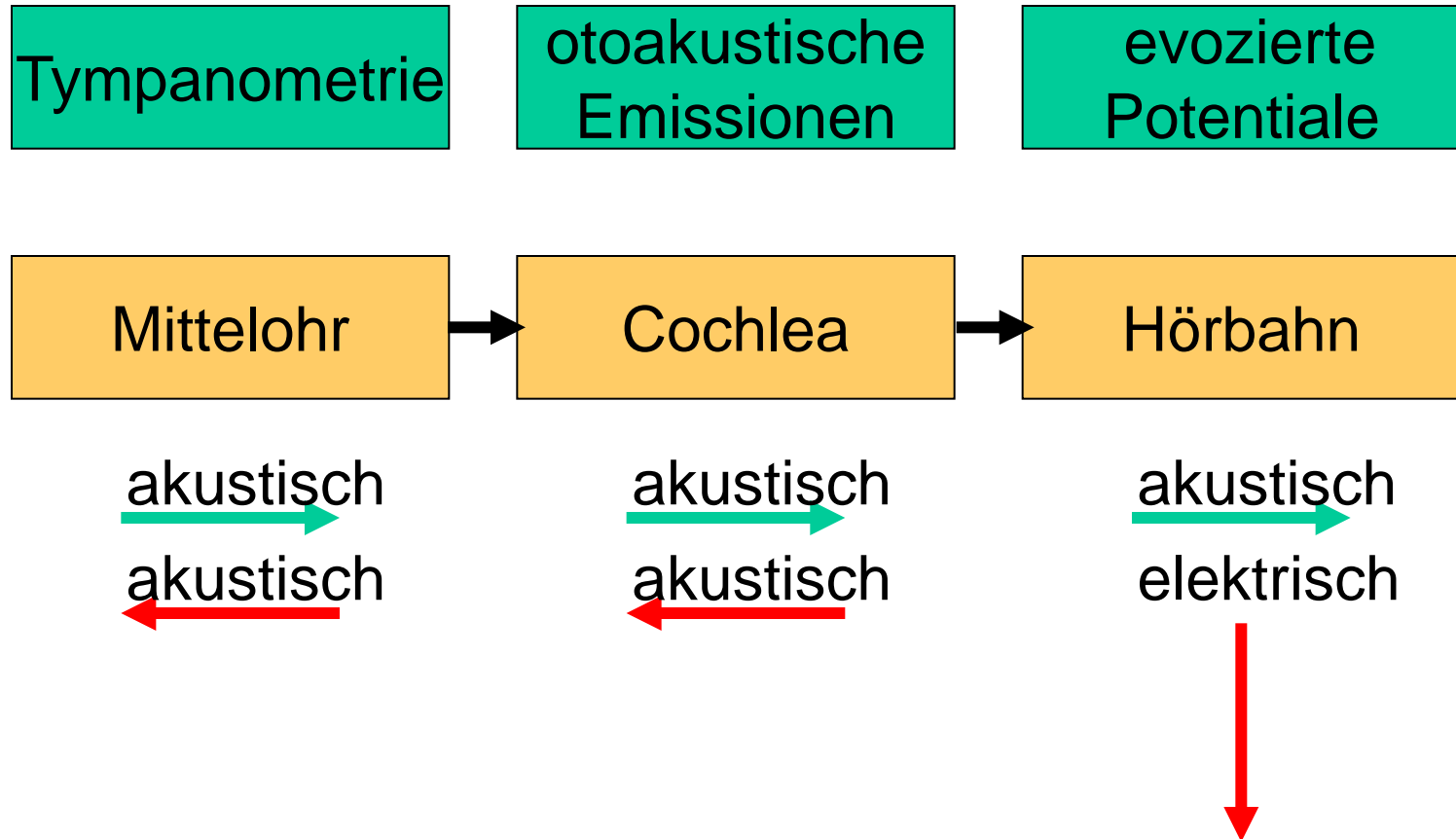
Blake Wilson, 1992

„Objektive“ Hörprüfungen

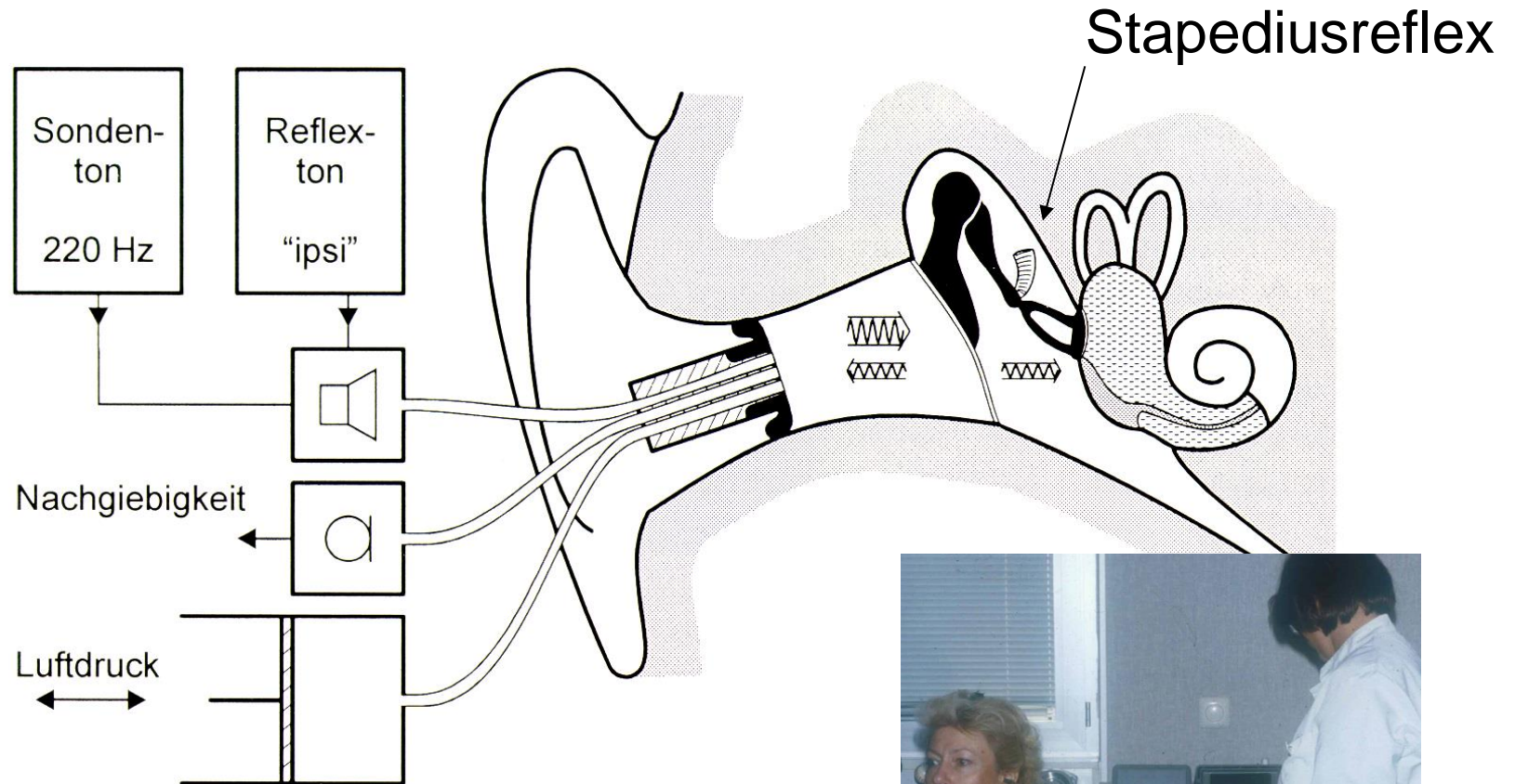
- Tympanometrie
- Otoakustische Emissionen (OAE)
- Akustisch evozierte Potentiale (B-ERA)



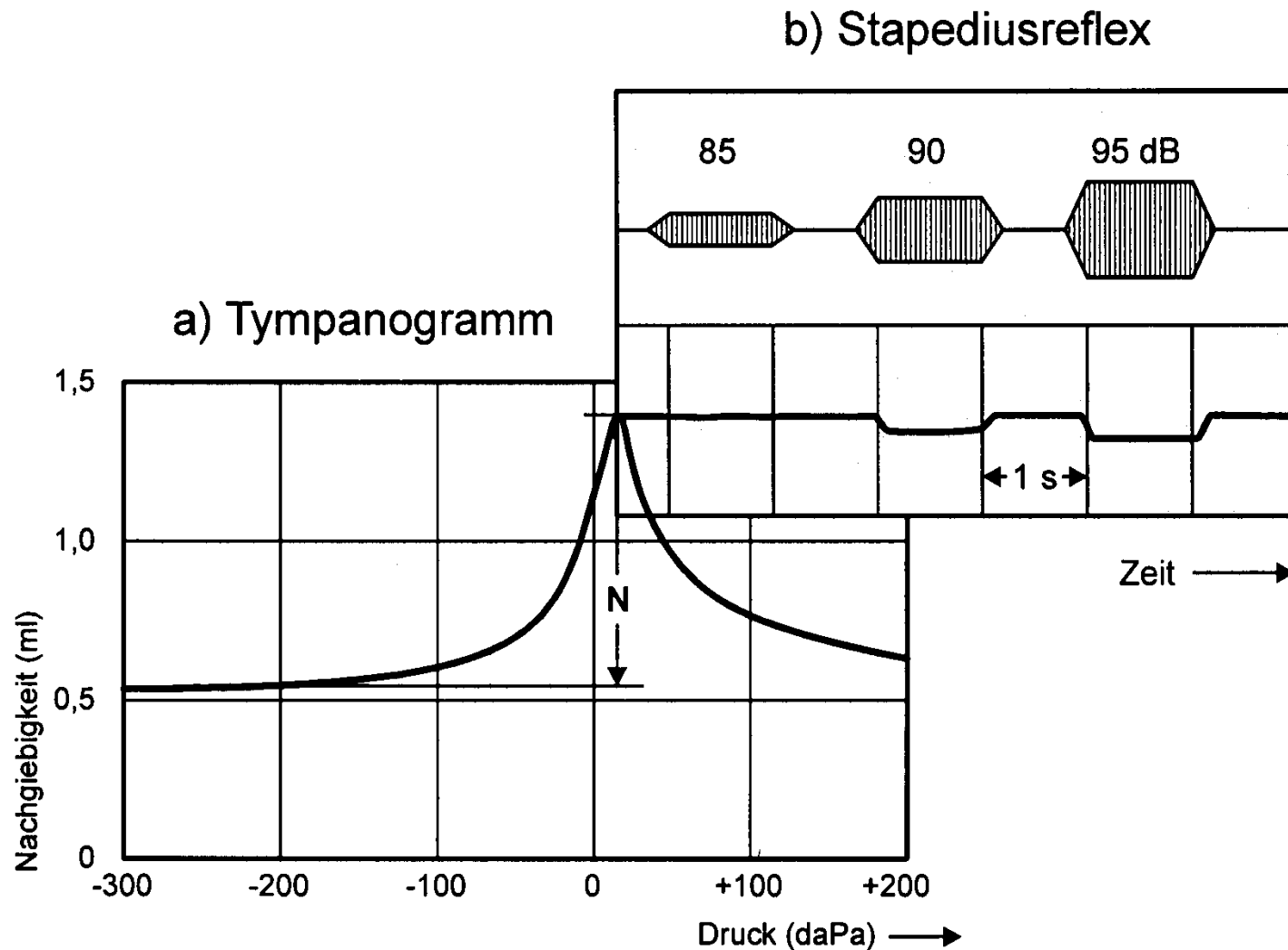
Objektive Hörprüfmethoden



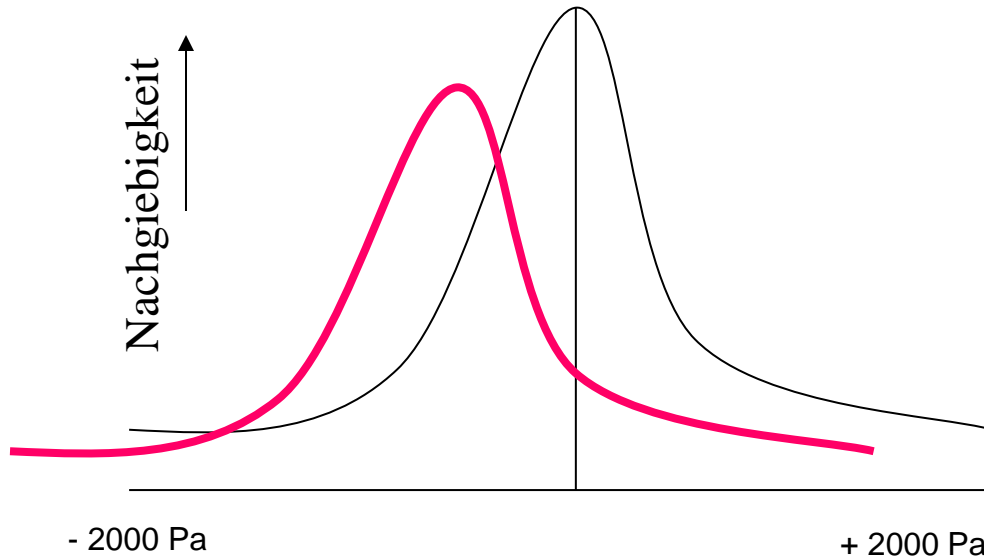
Tympanometrie



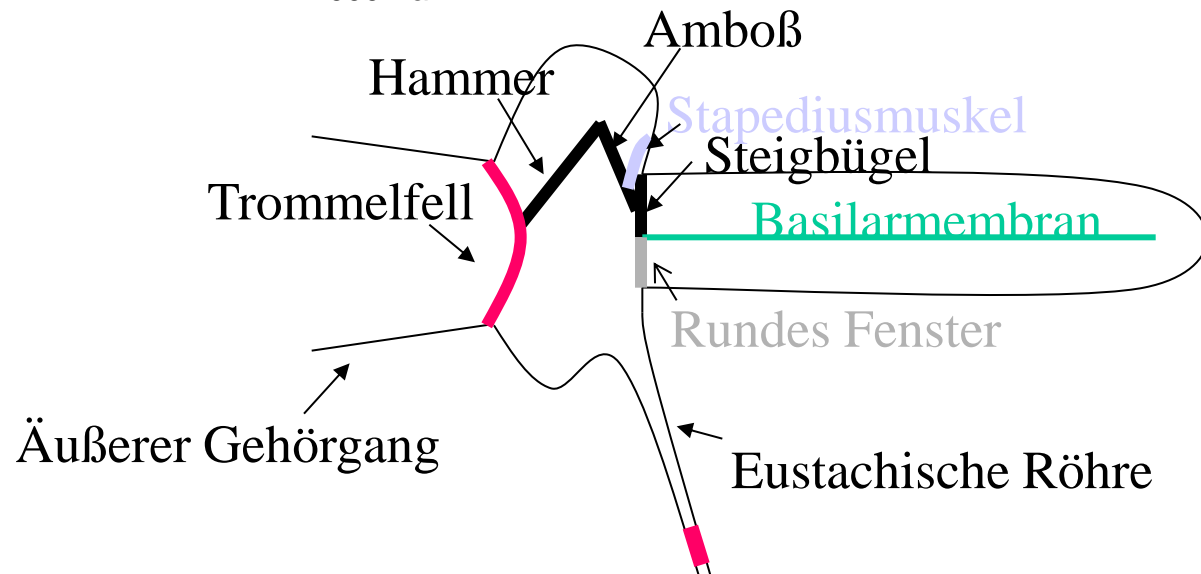
Tympanogramm und Stapediusreflex



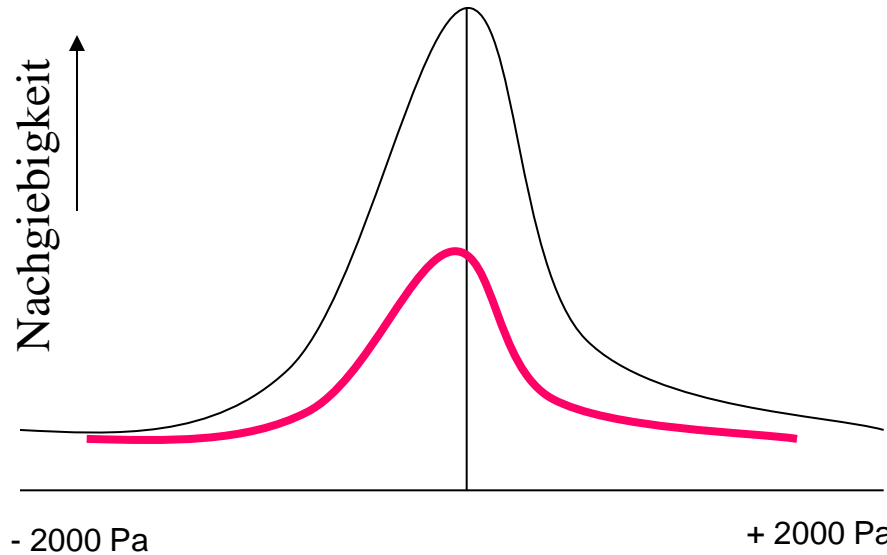
Tubenfunktionsstörung



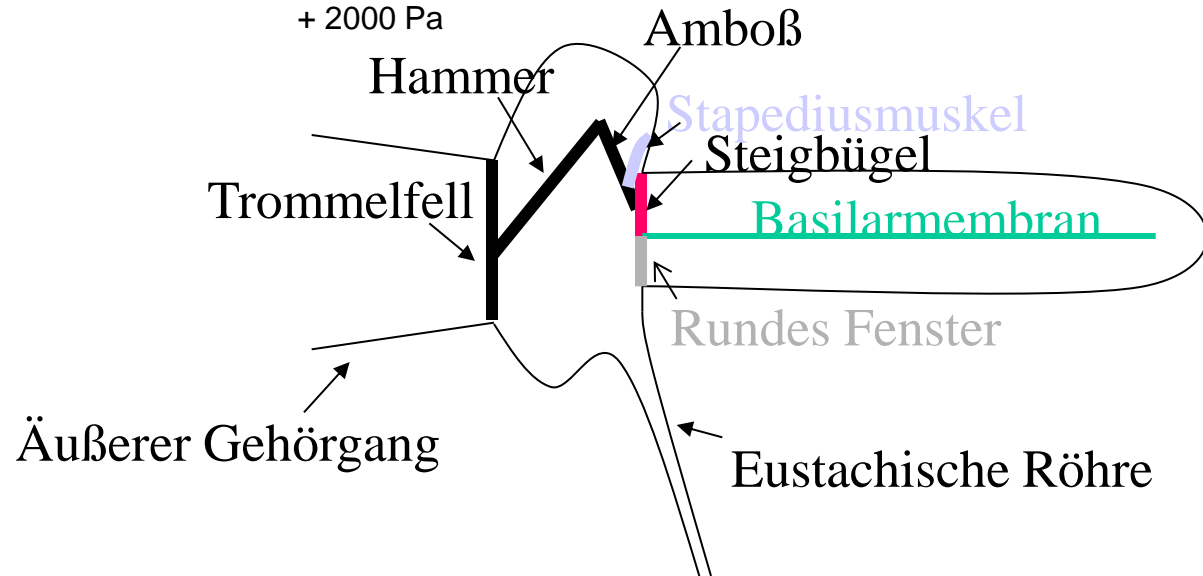
Unterdruck in der
Paukenhöhle



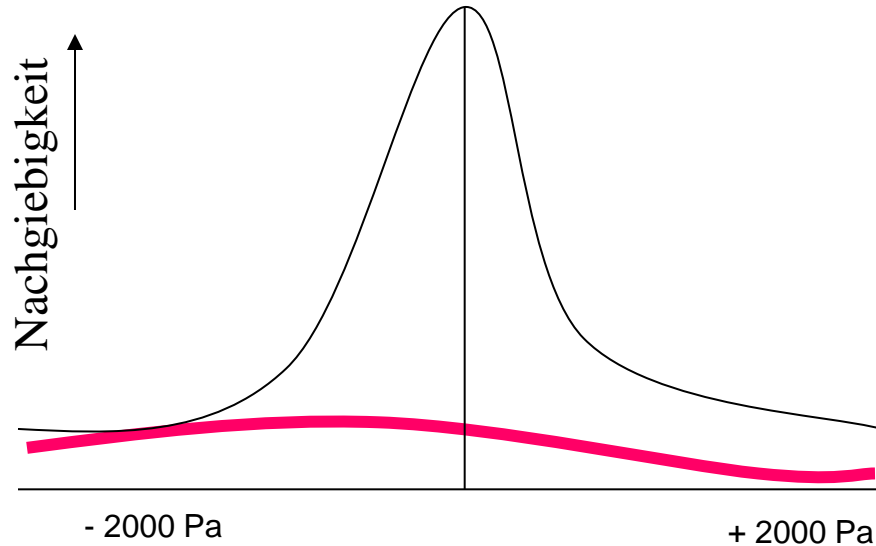
Otosklerose



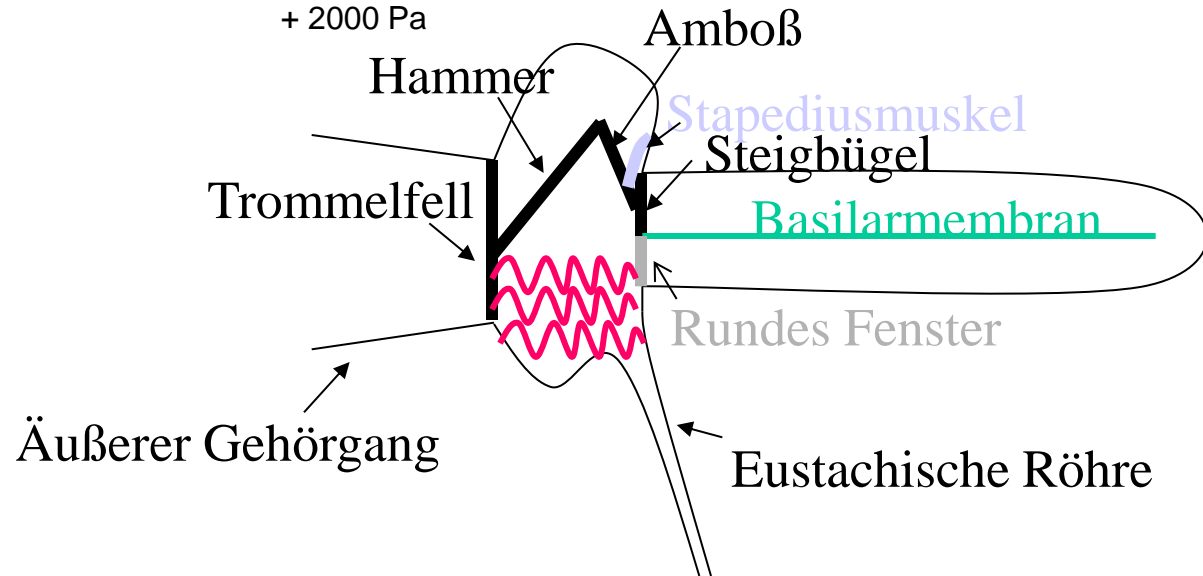
Fixation des Steigbügels



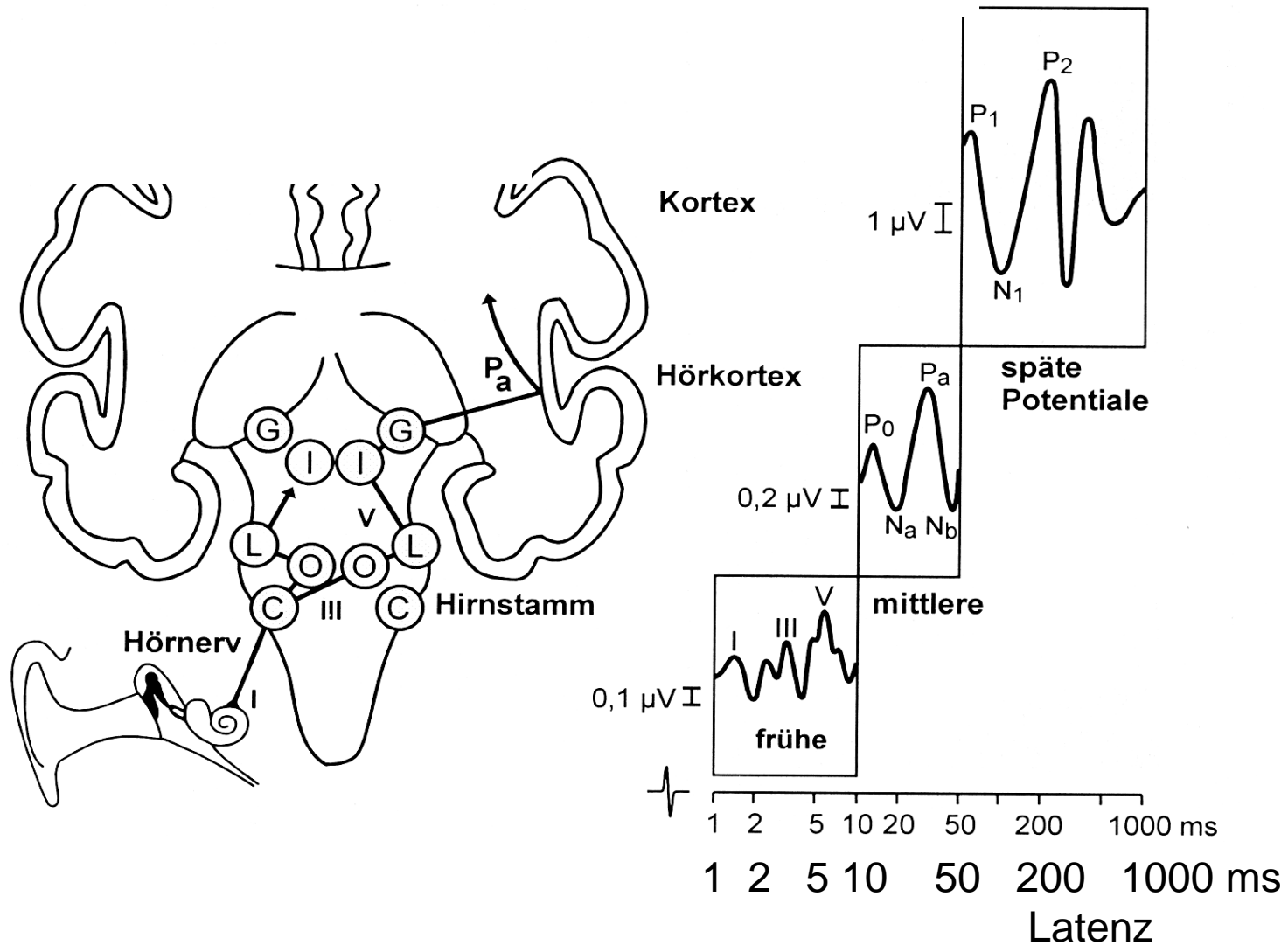
Mittelohr-Erguss



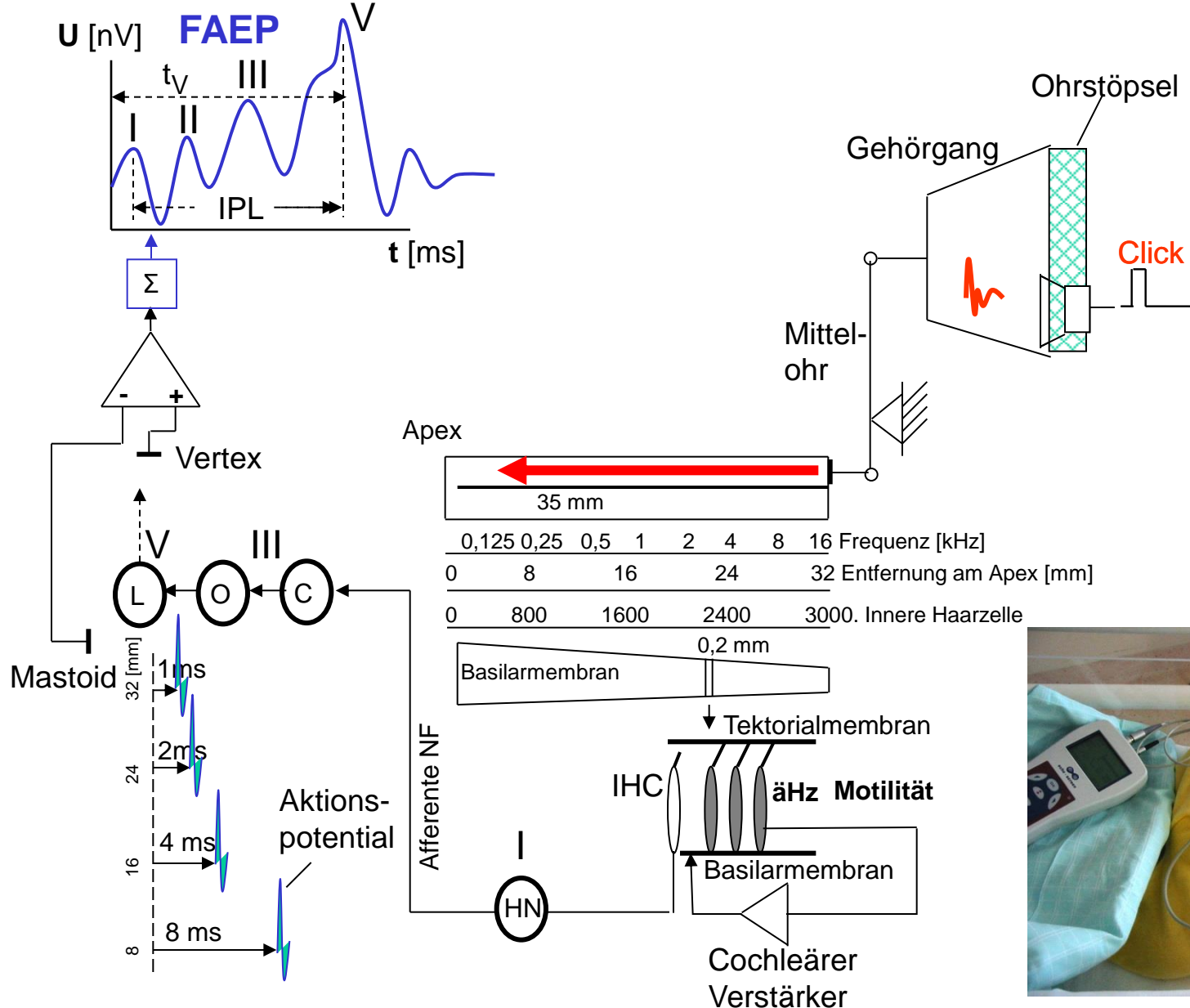
Sekretgefüllte
Paukenhöhle



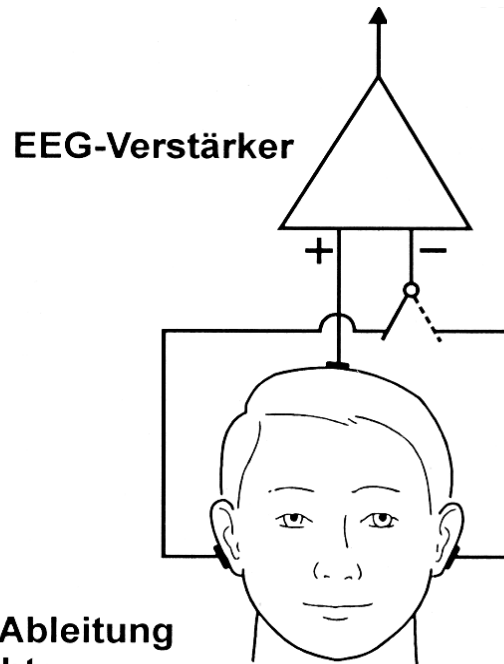
Akustisch evozierte Potentiale



Auslösung und Messung der Frühen AEP



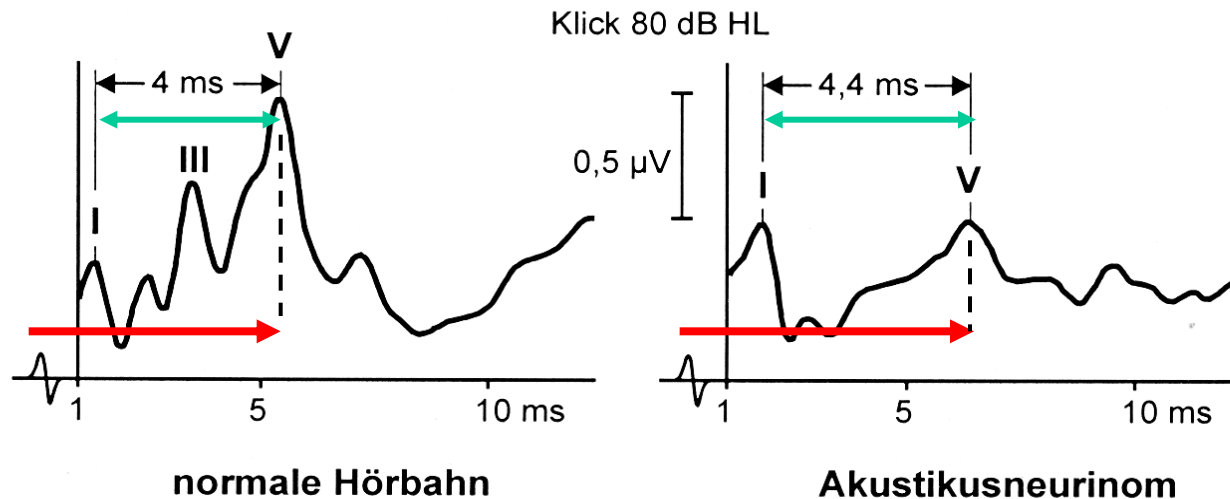
Hirnstammaudiometrie (B-ERA)



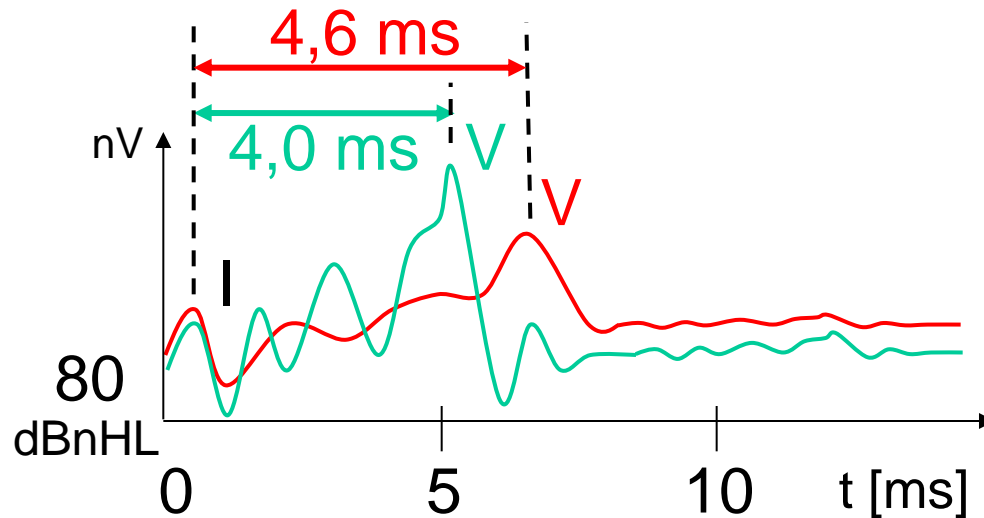
1. Neurologische Fragestellung

Diagnostik des Vestibularis-Schwannoms

Absolute Latenz
Inter-Peak-Latenz



Retrocochleäre Funktionsstörungen



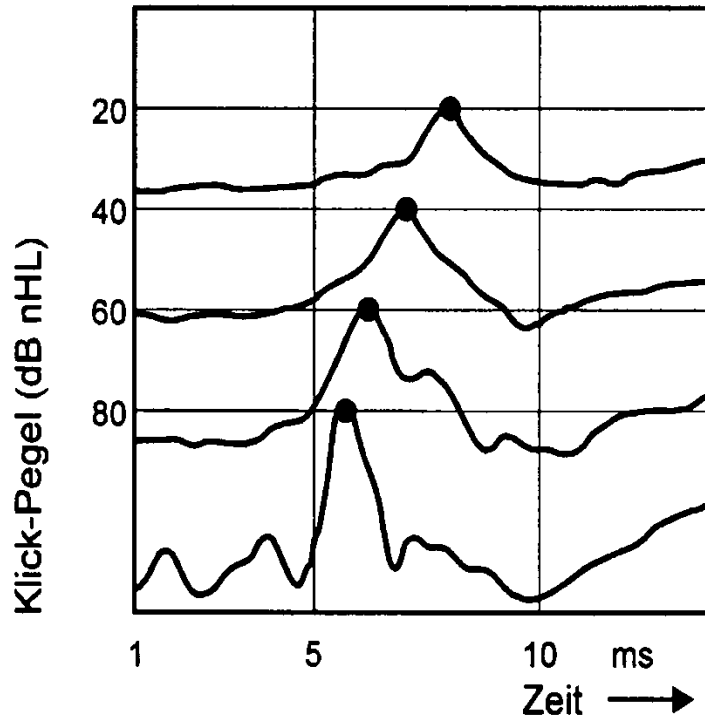
Sichere Diagnose wenn die Ableitung der Welle I und der Welle V gelingt

Normale Latenz der Welle I und verlängerte Latenz der Welle V
= verlängerte Inter-Peak-Latenz (Welle V – Welle I) $> 4,4$ ms

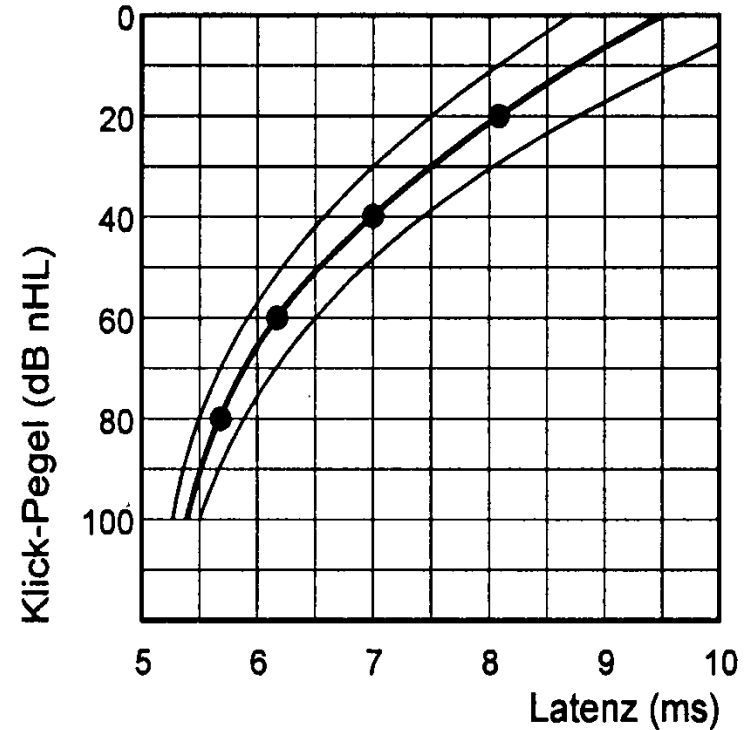
→ Akustikusneurinom (Seitendifferenz)

→ Raumfordernder Tumor, Neurofibromatose
(keine Seitendifferenz)

a) Hirnstammpotentiale



b) Pegel-Latenz-Diagramm (Welle V)



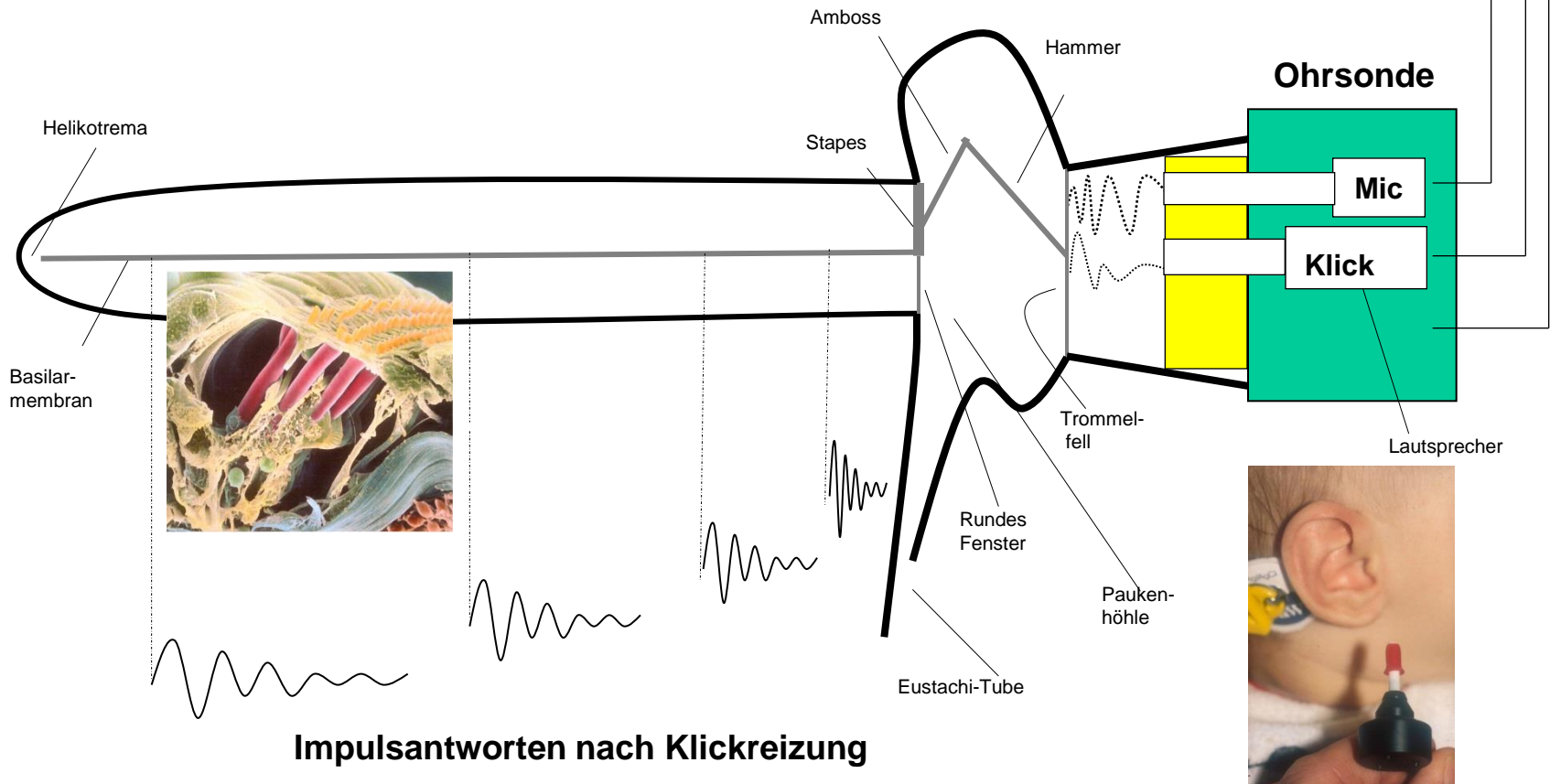
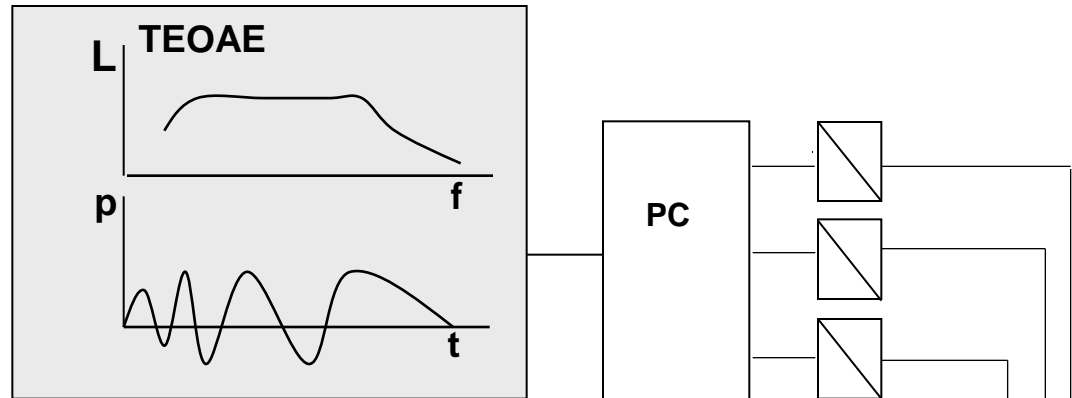
2. Audiologische Fragestellung BERA

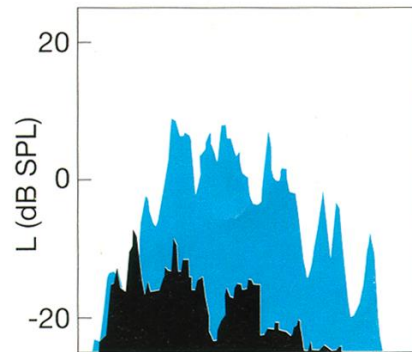
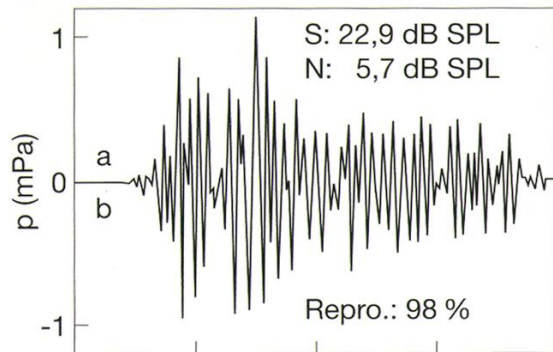
Bestimmung der Hörschwelle

Otoakustische Emissionen

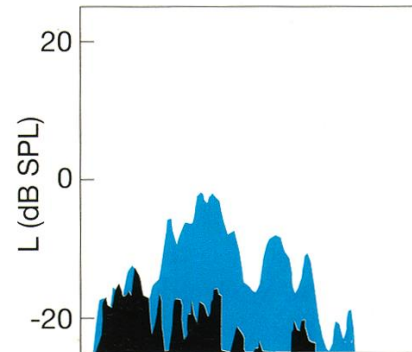
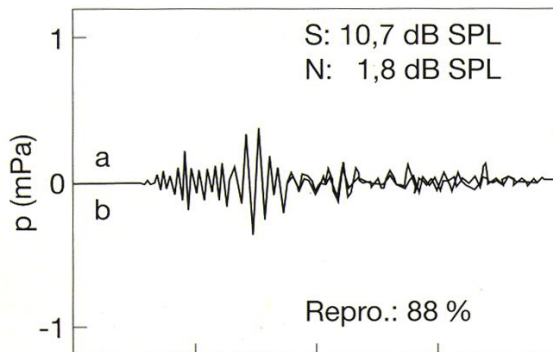
- **Follow-up, Konfirmationsdiagnostik nach dem Neugeborenen-Hörscreening**
- **Päaudiologische Diagnostik**
- **Differentialdiagnostik**
 - Nachweis einer cochleären Schwerhörigkeit (Topologische Diagnostik, Lärmgutachten)
- **Test bei Simulation und Aggravation**
 - Unterschied zwischen Tonschwellenaudiogramm und OAE
- **Verlaufskontrolle bei Hörsturz und Verabreichung ototoxischer Medikamente**

Transitorisch Evozierte Oto- Akustische Emissionen

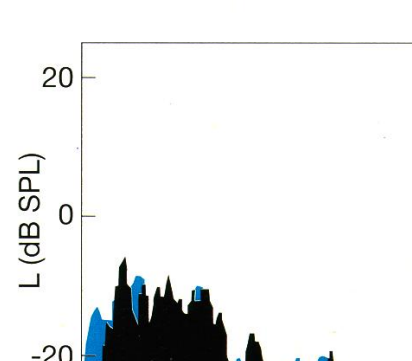
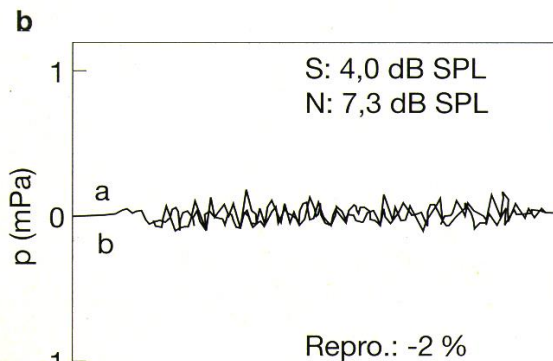




2 Monate altes Baby



2 ½ Stunden nach Geburt



Keine TEOAE

c

f (Hz)

Neugeborenen-Hörscreening



AOAE = Automatische OAE

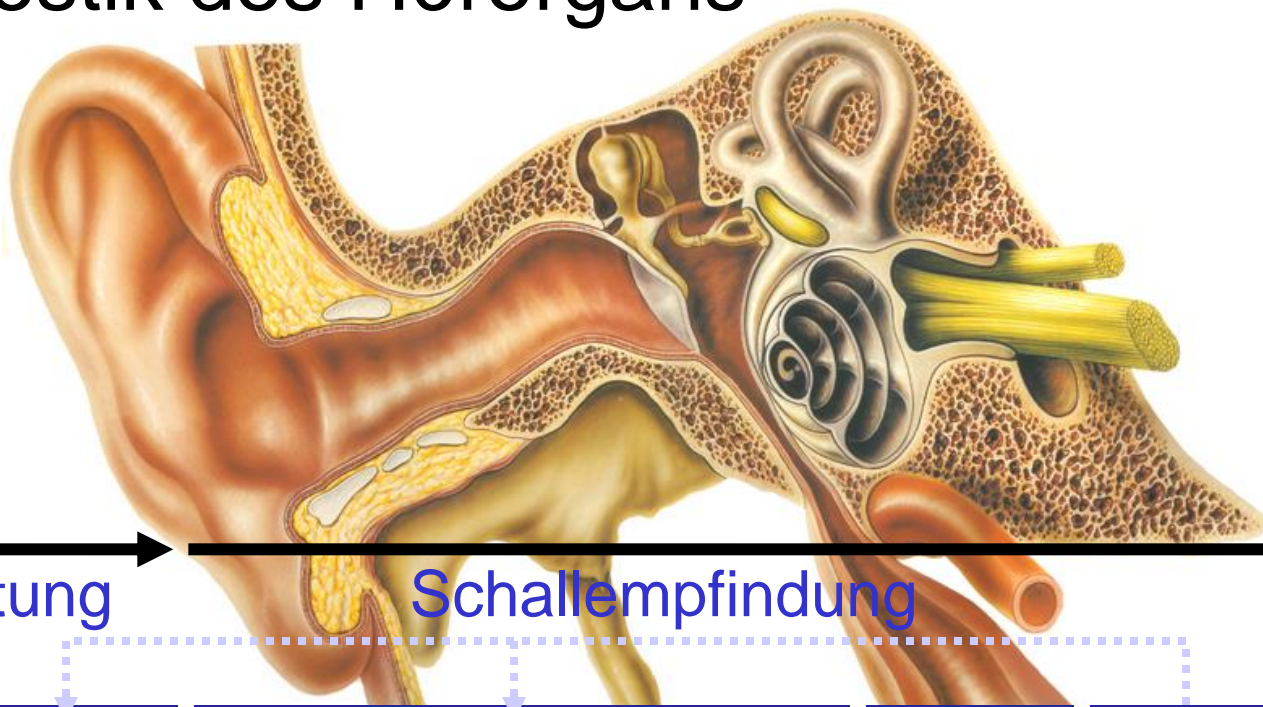
Pass oder Fail



AABR = Automatische ABR

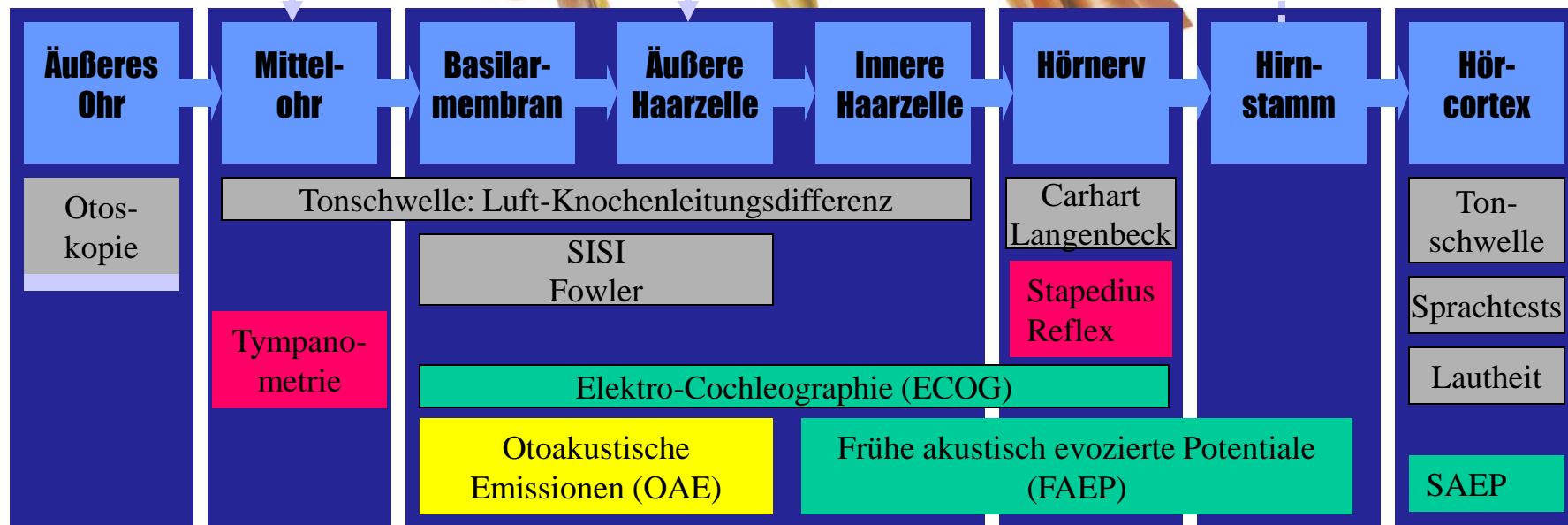
Pass oder Fail

Diagnostik des Hörorgans



Schalleitung

Schallempfindung



Praktische Audiometrie

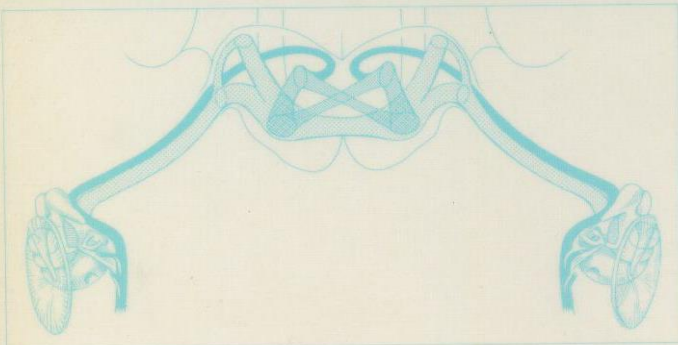
Lehrbuch und synoptischer Atlas

Von Ernst Lehnhardt

Begründet von Bernhard Langenbeck

Bibliothek

5. neubearbeitete Auflage
198 teils farbige Abbildungen, 10 Tabellen



Georg Thieme Verlag Stuttgart

Literatur:

Praxis der Audiometrie

R. Laszig, E. Lehnhardt

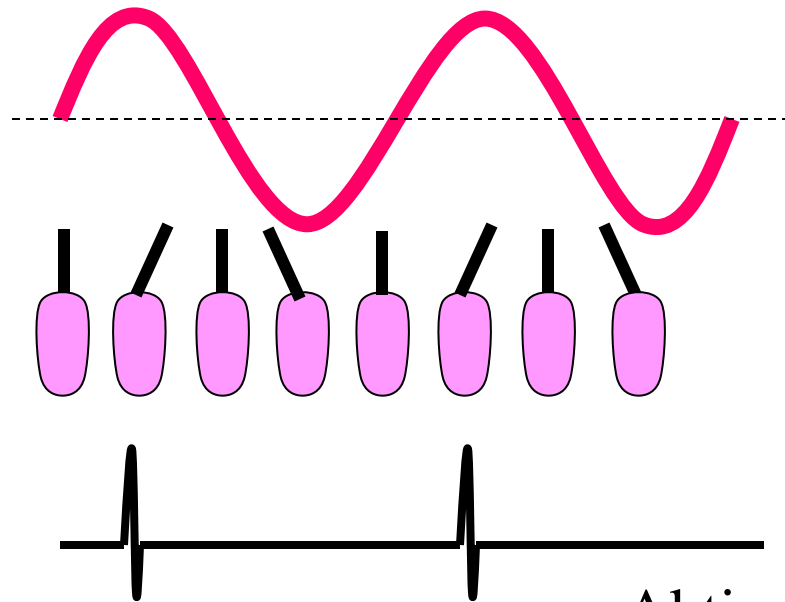
9. Auflage, 2009

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit
und einen schönen 1. Mai**

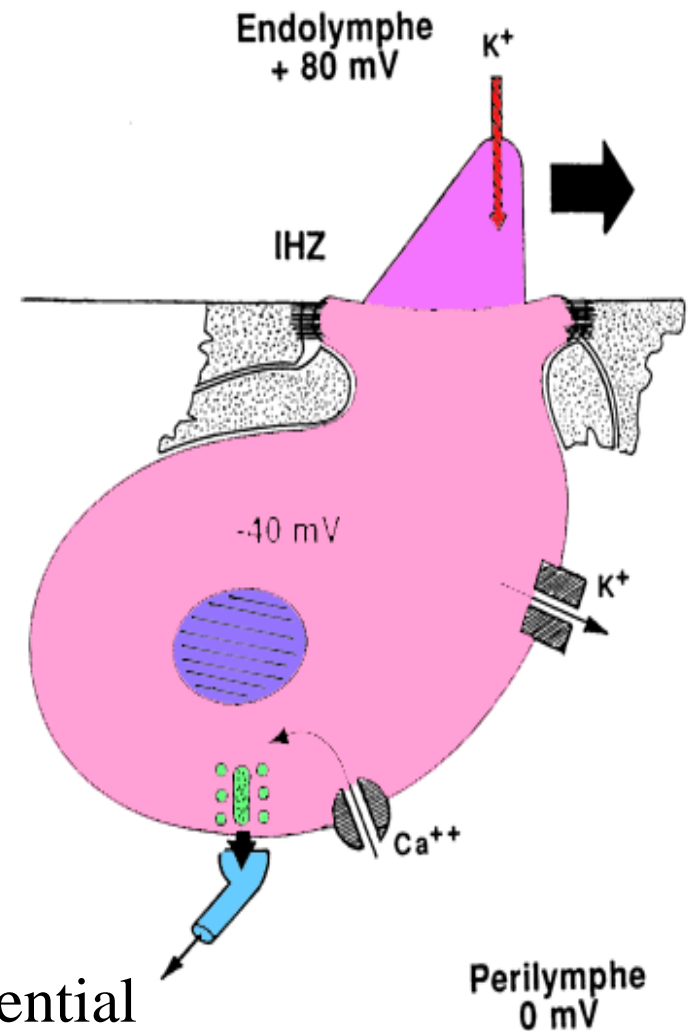


Innere Haarzelle

Sensorische Transduktion



Aktionspotential



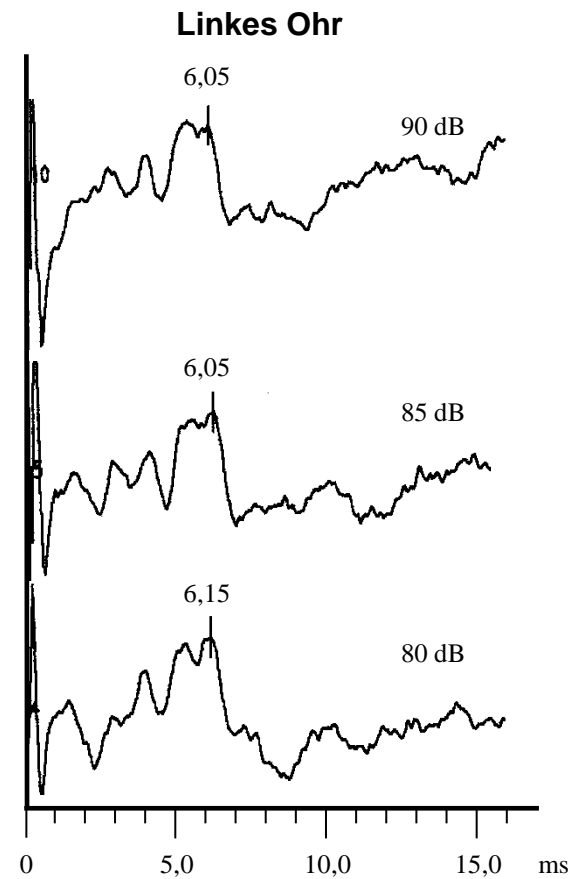
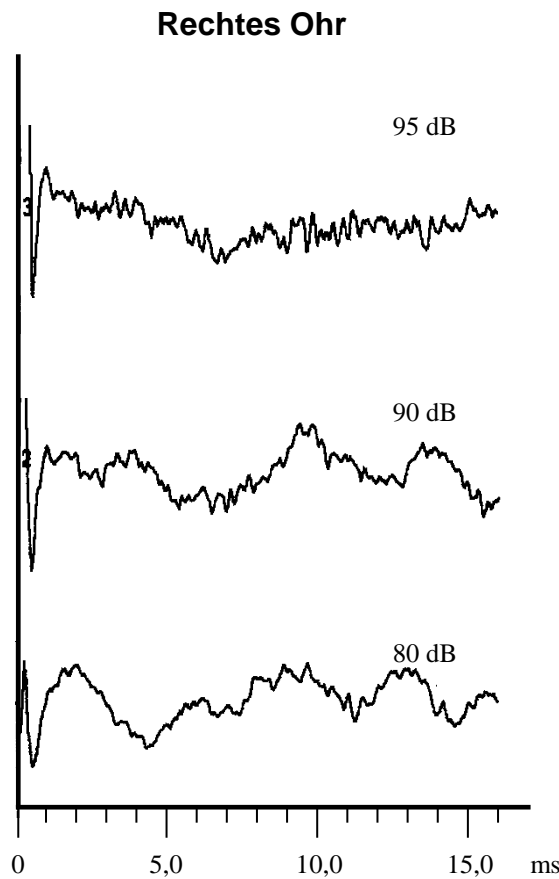
Akustikus Neurinom

rechtes Ohr

x.Y. Jahre

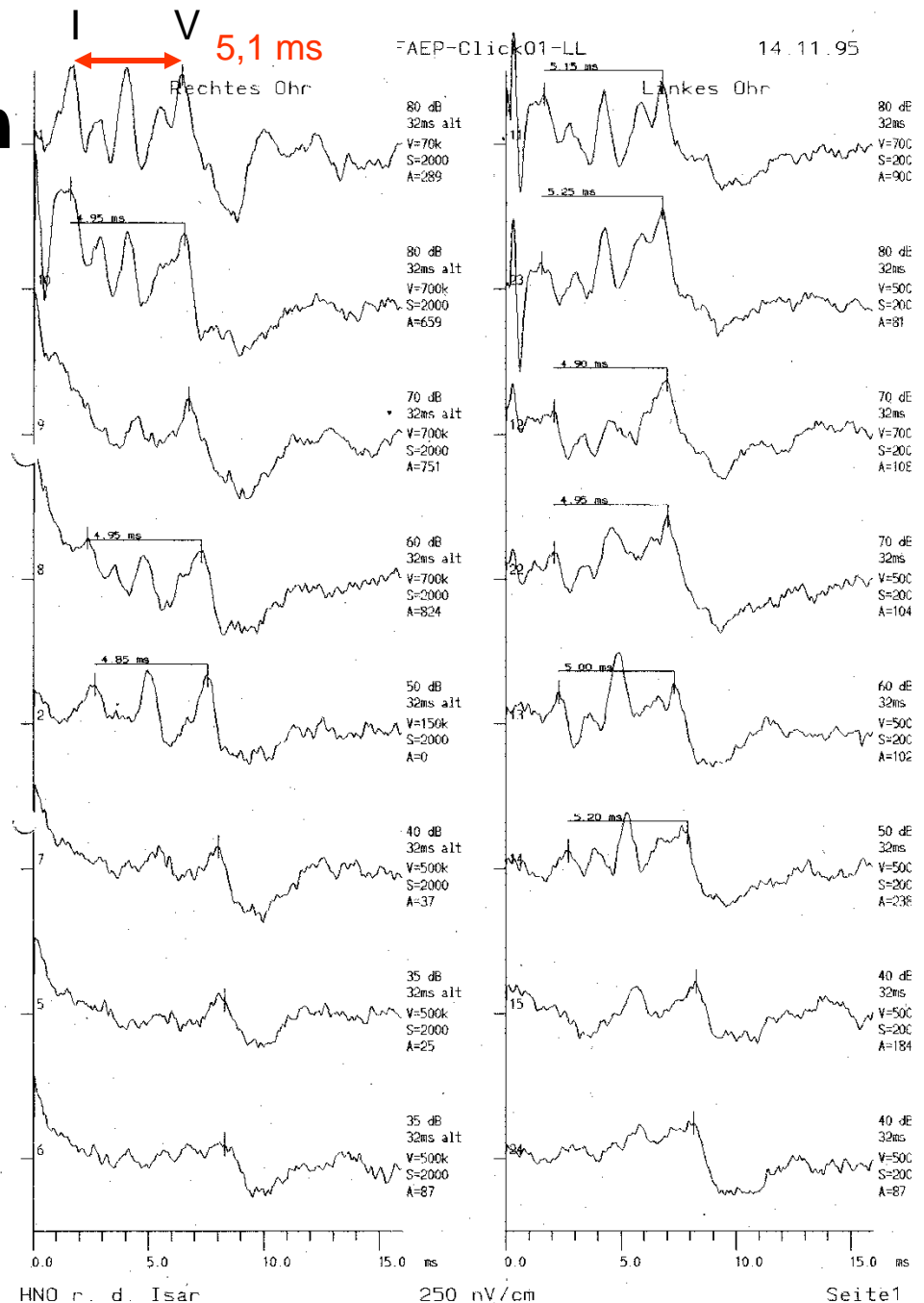
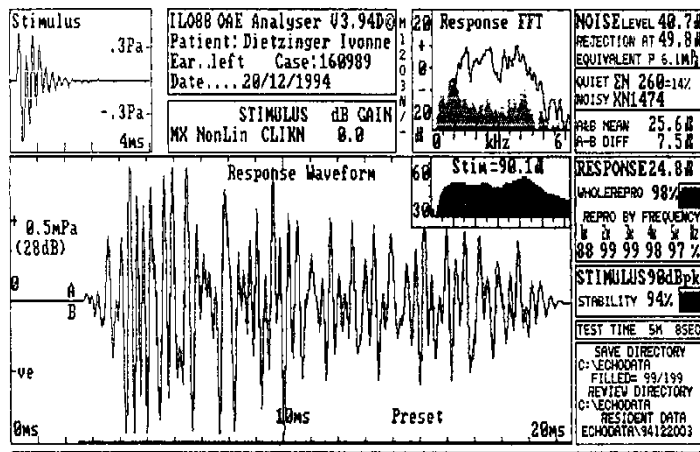
BERA r. Ohr: Keine Potentiale

BERA l. Ohr: Normale Latenz Welle V



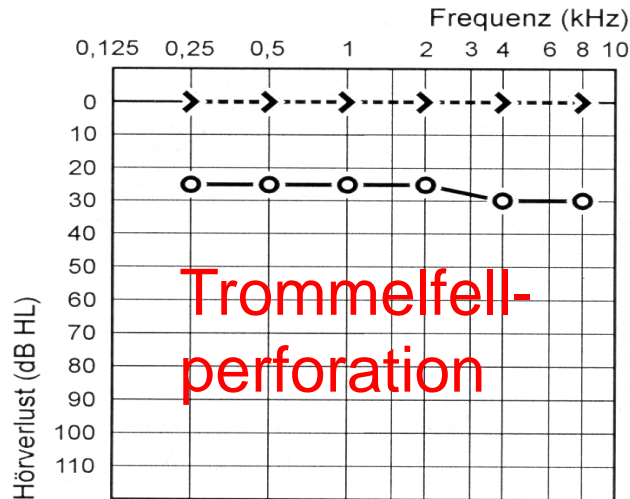
Hörstörungsgrad	Ursache	Sprachverständnis
normal (-10 bis 15 dB)	Tubenfunktionsstörung TTS	normal
leicht (15 bis 30 dB)	Cerumen Otitis Media Lärmtrauma Morbus Ménière	nicht alle Konsonanten keine leisen Vokale
mittel (30 bis 50 dB)	Otosklerose Knalltrauma Altersschwerhörigkeit	wenig Vokale und Konsonanten bei normalem Sprachpegel
schwer (50 bis 70 dB)	Cholesteatom Explosionstrauma Hörsturz	keine Vokale und Konsonanten bei normalem Sprachpegel
hochgradig (über 70 dB)	Intoxikationen Rezidiv Hörsturz Geburtstrauma hereditär	keine Sprache, nur laute Schallquellen

D.Y. 6 Jahre
Sprachentwicklungsstörung
Audiogramm: Normakusis
BERA: Inter-Peak-Latenz verlängert
Tympanogramm: bds. o.B.
Stapediusreflex: bds. regelgerecht
TEOAE: bds. regelgerecht

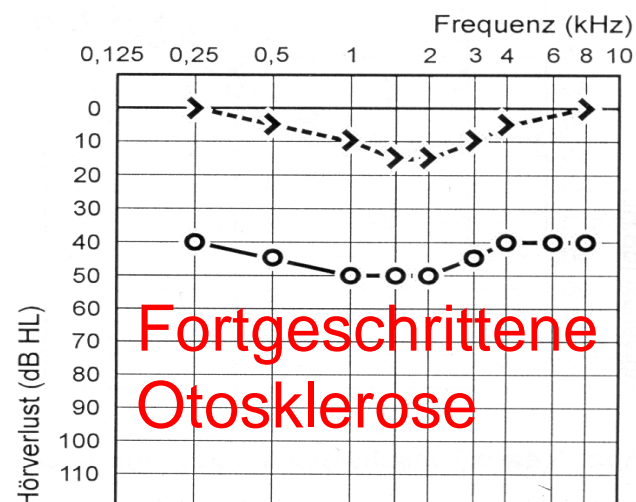
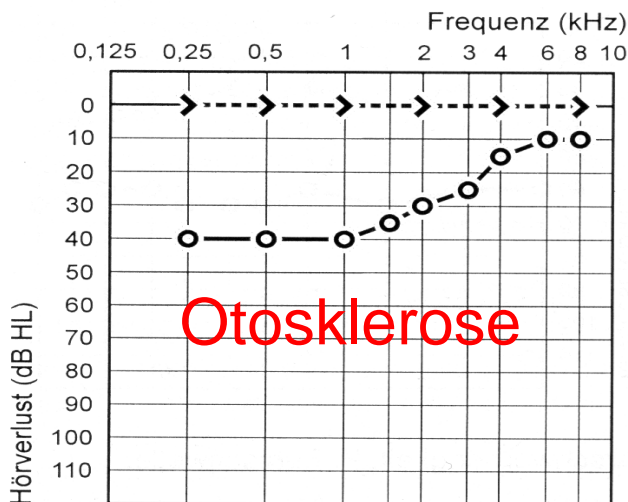
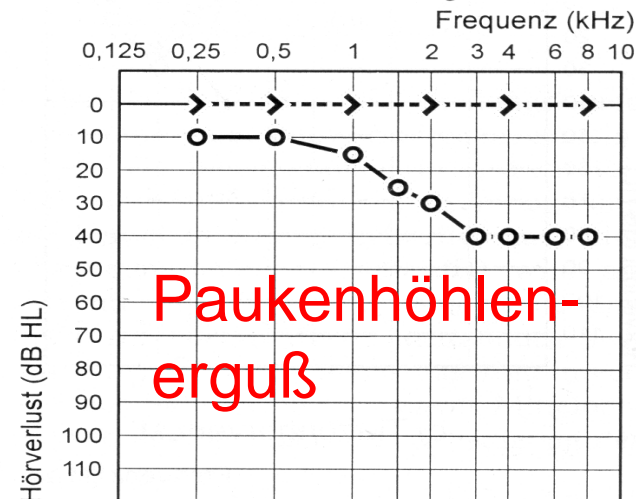


Schallleitungsschwerhörigkeit

a) Trommelfelldefekt

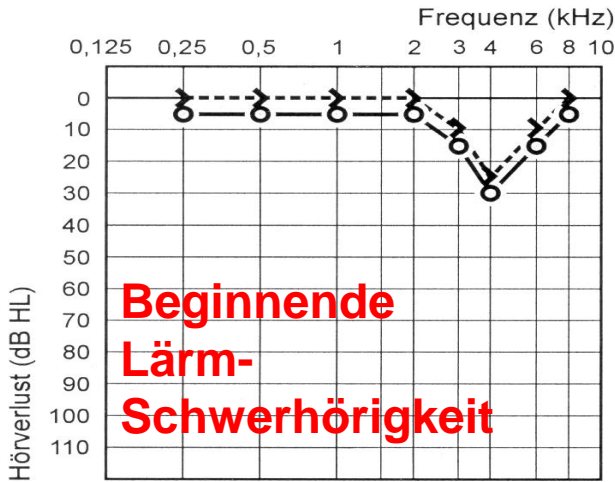


b) Mittelohrerguß

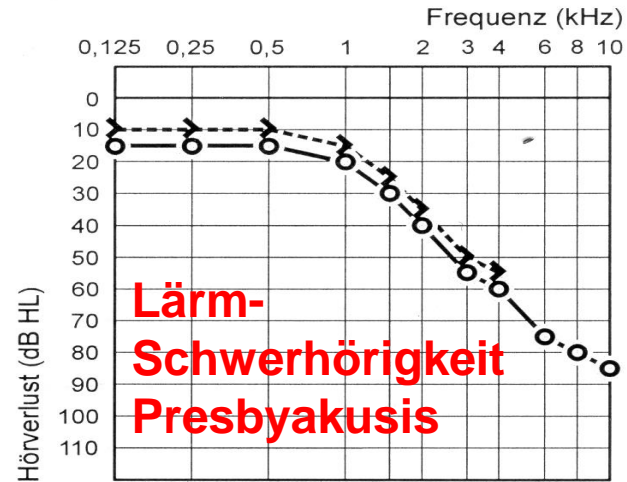


Schallempfindungsschwerhörigkeit

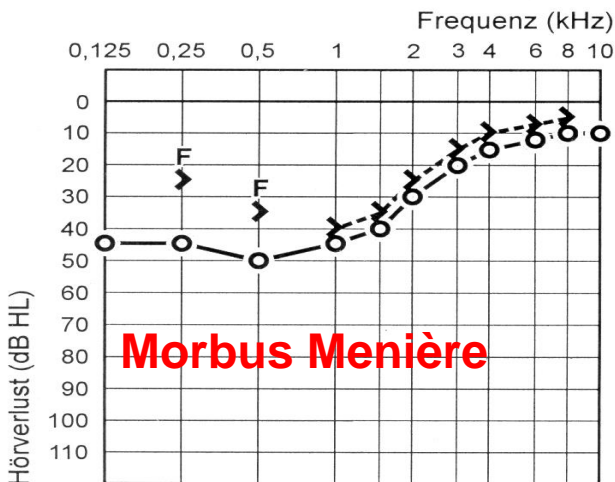
a) Hochtensenke



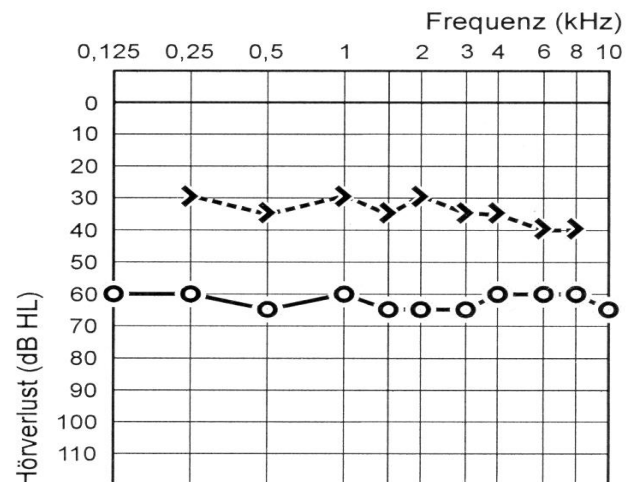
b) Hochttonabfall



c) Tieftonhorverlust



d) kombinierter Hörverlust



Stimmgabelprüfung

rechts		links
→	Weber	←
+	Rinne	+

Normales Gehör

rechts		links
	Weber	→
+	Rinne	-

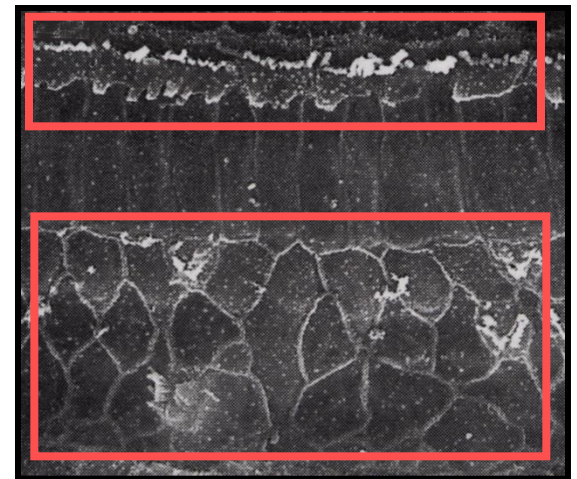
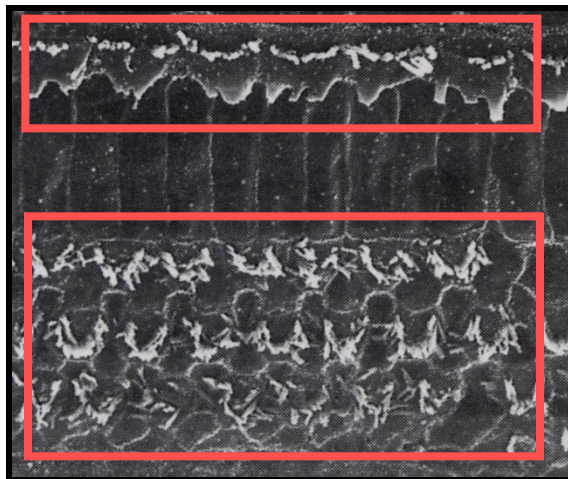
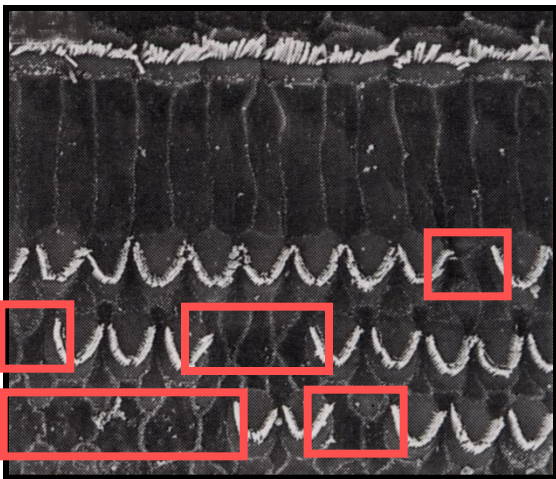
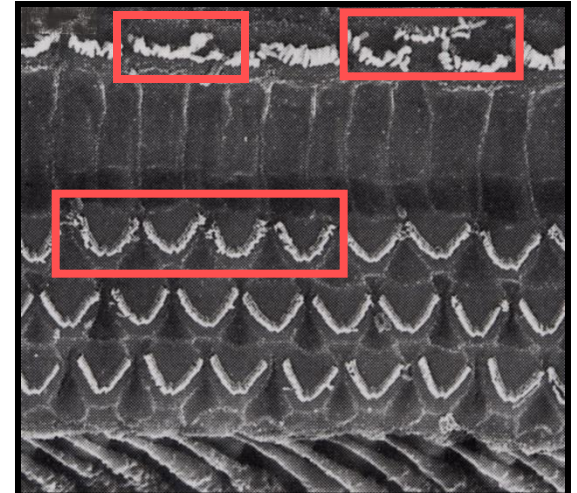
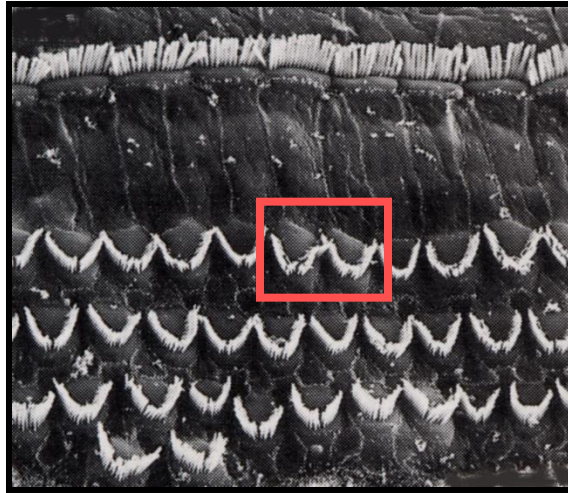
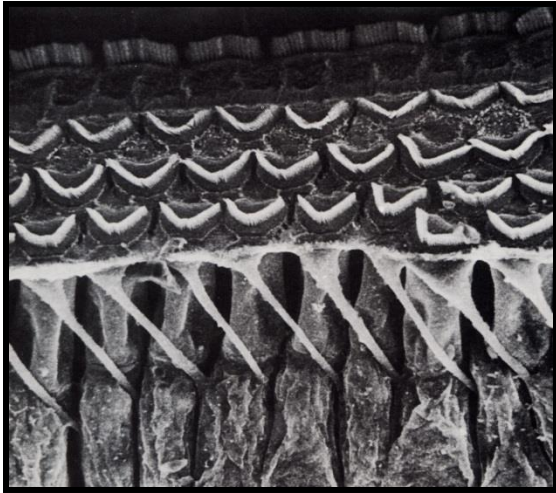
Mittelohrschwerhörigkeit links

rechts		links
←	Weber	
+	Rinne	+

Innenohrschwerhörigkeit links

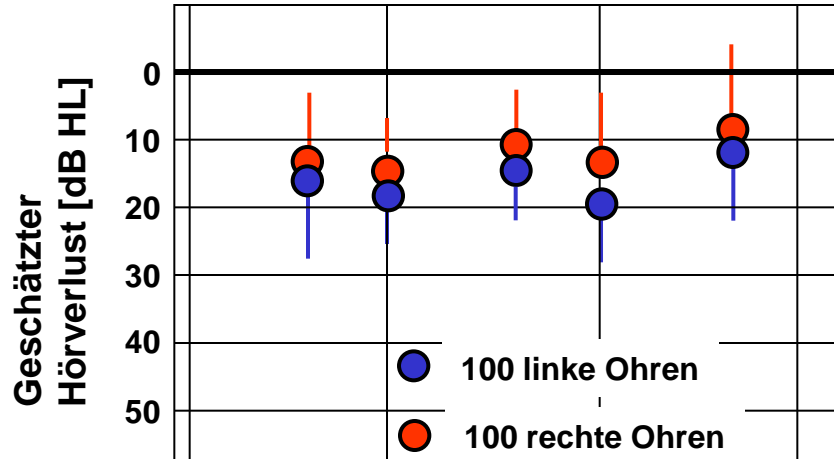
Ergebnisse des Stimmgabeltests.

Schall (Lärm) - Trauma

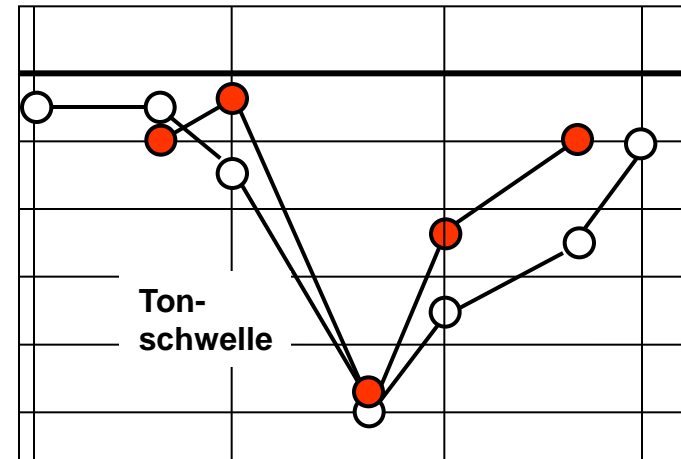


DPOAE-Kochleogramme

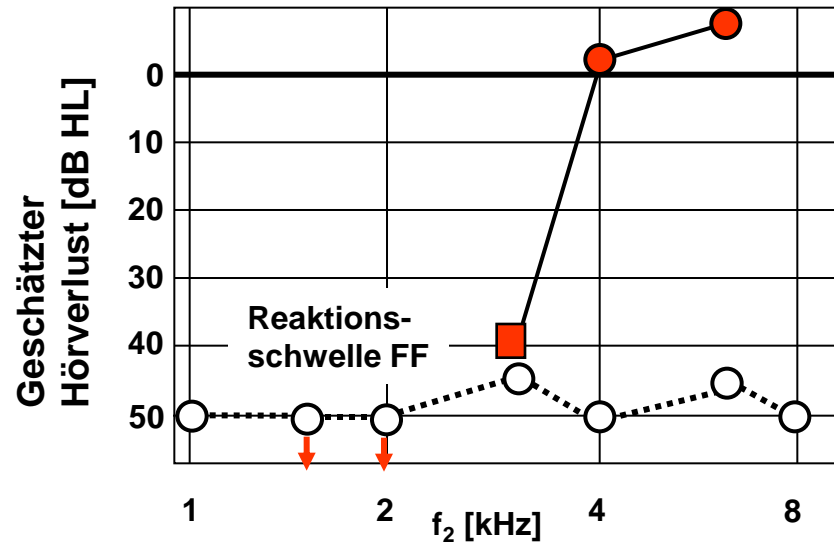
100 Neugeborene (2,5 Jahre)



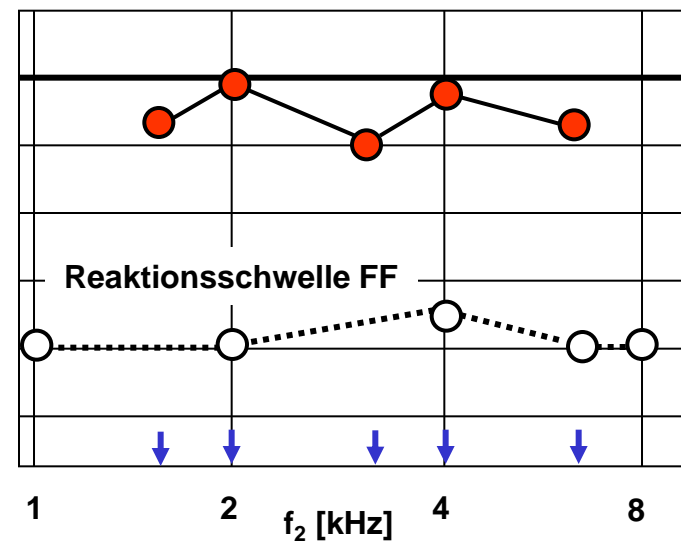
6 Jahre altes Kind



6 Monate altes Kind



3 Monate altes Kind



T 8.2 Einteilung des Grades von Schwerhörigkeit

Bezeichnung	Hörverlust in dB	Hörverlust in %
normales Gehör	< 20 dB	0 – 20%
geringgradiger Hörverlust	20 – 40 dB	20 – 40%
mittelgradiger Hörverlust	40 – 60 dB	40 – 60%
hochgradiger Hörverlust	60 – 90 dB	60 – 80%
an Taubheit grenzender Hörverlust	90 – 110 dB	80 – 95%
Taubheit	> 110 dB	100%

Göttinger Satztest

20 Listen mit je 10 Sätzen

1. Wir hören den plätschernden Bach
2. Er gewinnt sechs Spiele hintereinander
3. Die Belastung war zu hoch
4. Das Haus hat keinen Garten
-
10. Ich freue mich schon auf das Essen

Es ist der Wert des *Signal-Rausch-Verhältnisses (dB S/N)* zu ermitteln, bei dem 50% der Testwörter einer Gruppe verstanden werden. Je nach Anzahl der richtig wiedergegebenen Wörter eines Testsatzes muss der Folgesatz lauter oder leiser gestellt werden

Oldenburger Satztest (olsa)

40 Listen mit je 30 Sätzen, die aus zufälligen Kombinationen von 50 Wörtern gebildet werden

1. Peter	bekommt	drei	große	Blumen
2. Kerstin	sieht	neun	kleine	Tassen
3. Tanja	kauft	sieben	alte	Autos
4. Thomas	gewann	achtzehn	schöne	Schuhe
...				
30. Thomas	bekommt	sieben	rote	Schuhe

(Name	Verb	Zahlwort	Adjektiv	Objekt)
-------	------	----------	----------	---------