

Hören & Innenohr (Akustik)

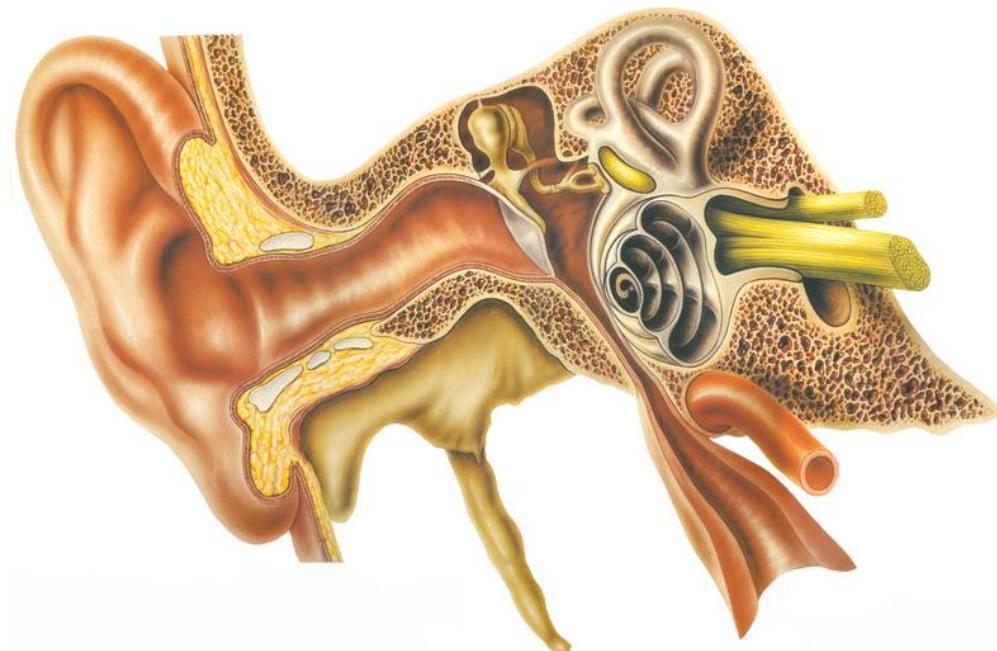
Was ist Schall?

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 Nervenerregungen

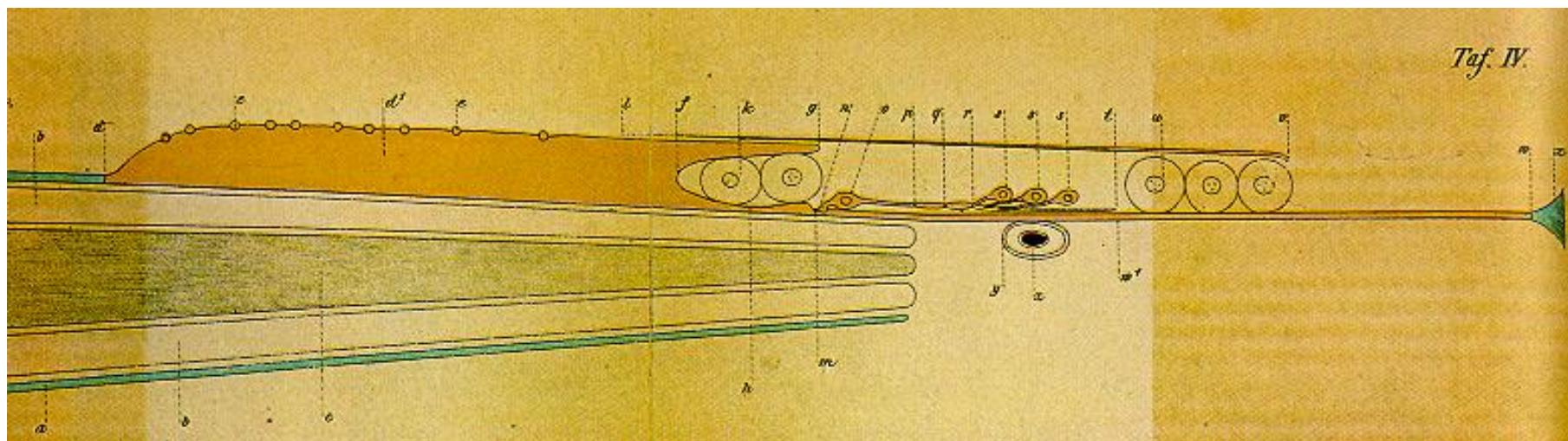


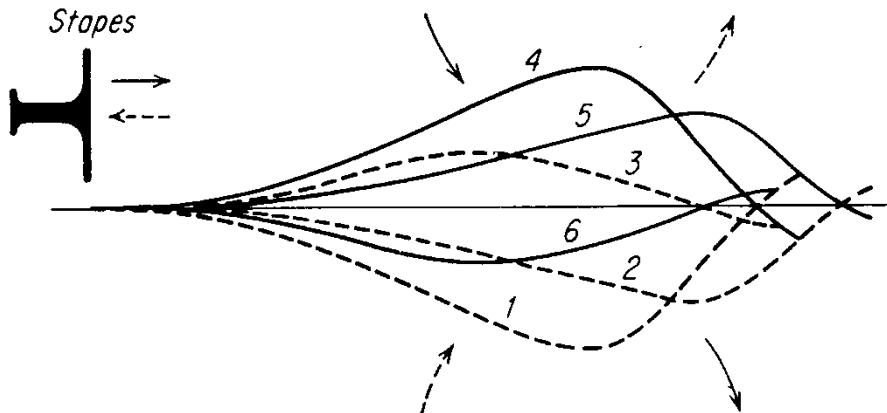
Hermann von Helmholtz
1821 - 1894

Das Corti-Organ (1851)

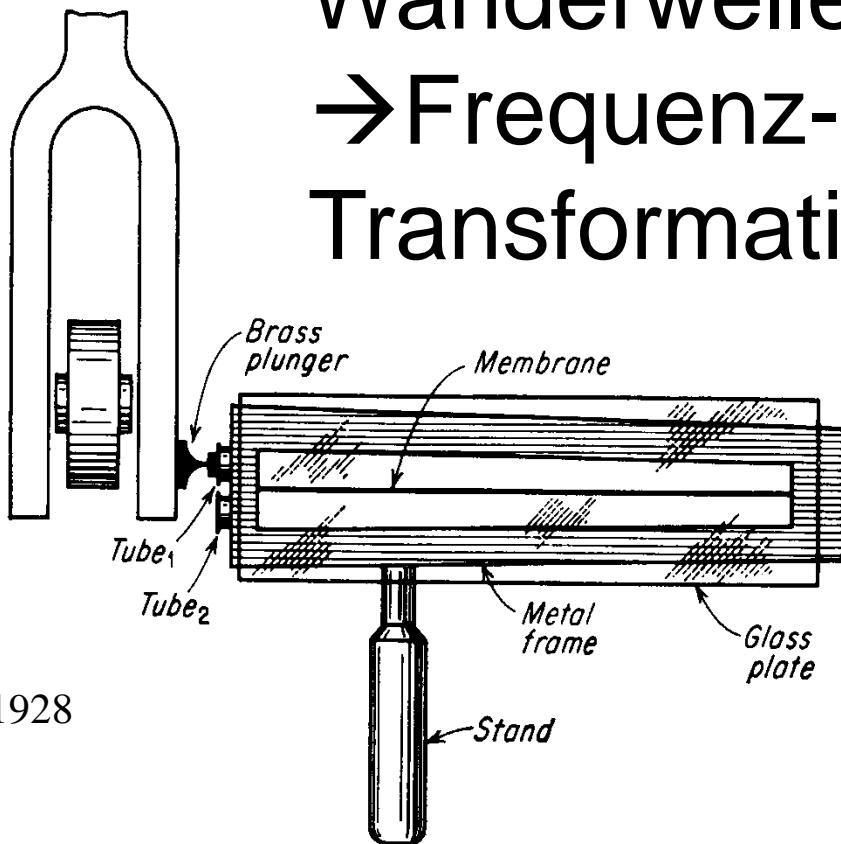


Alfonso Corti (1822 – 1876)





**Wanderwellen
→ Frequenz-Orts-
Transformation**



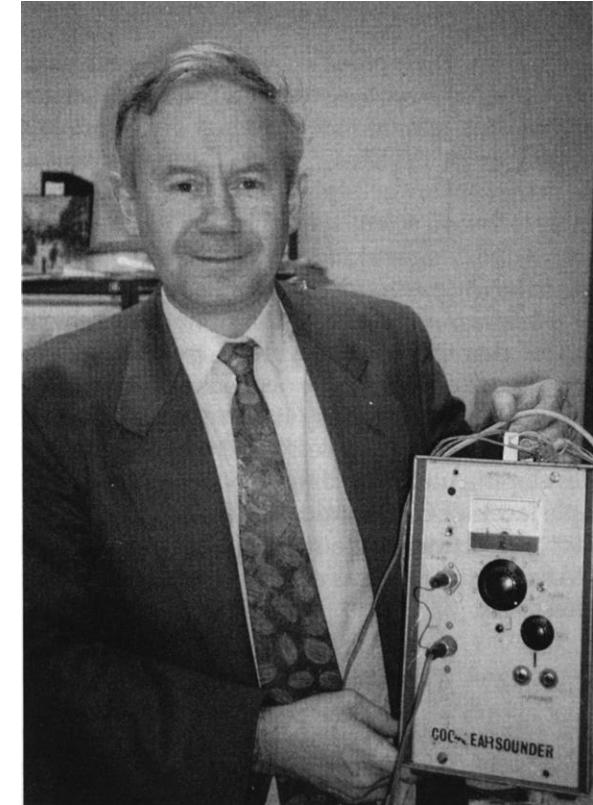
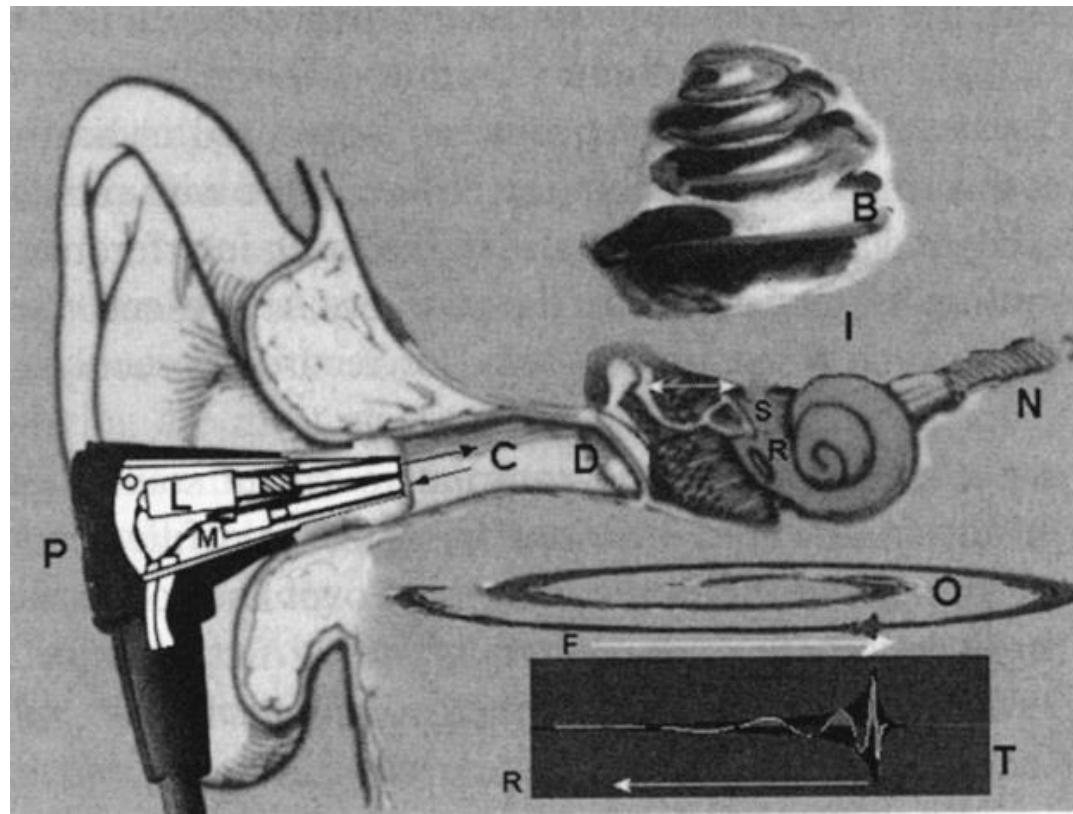
1928



**Georg von Békésy
1899 - 1972**

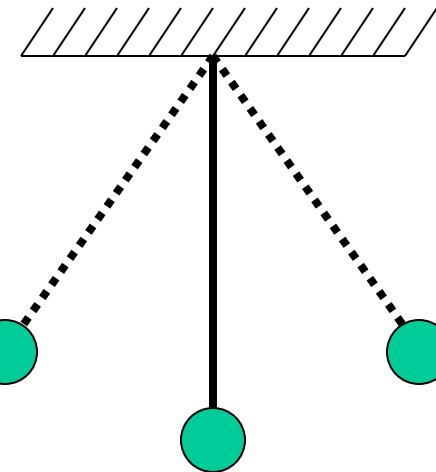
**Nobel-Preis
für Medizin 1961**

Otoakustische Emissionen



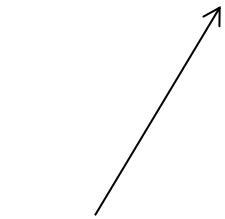
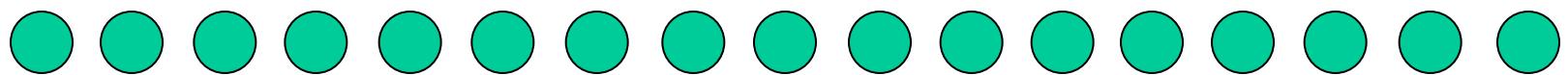
**David Kemp
1978**

Was ist Schall ?



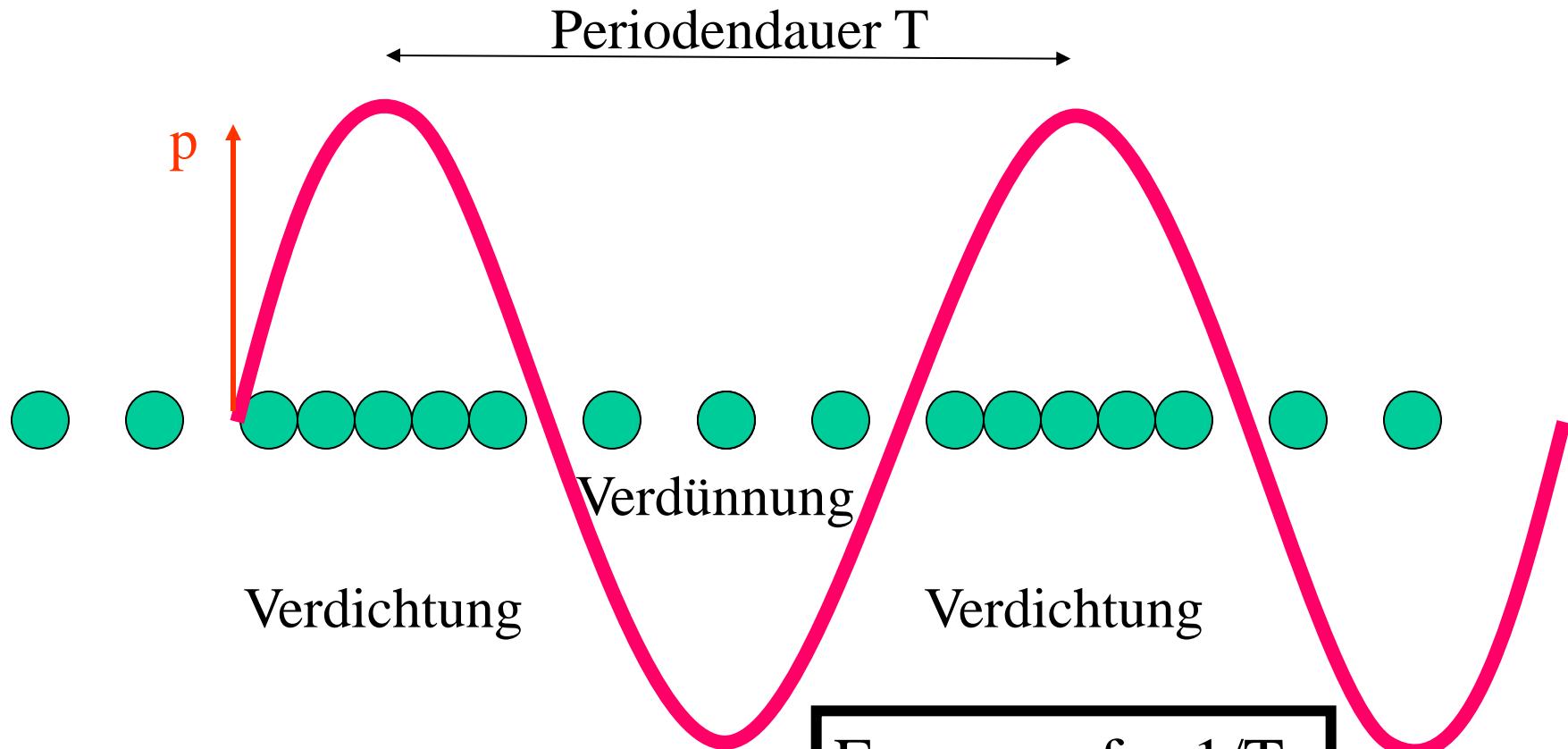
Hörbare Bewegung kleiner Teilchen in gasförmigen, flüssigen und festen Medien, die um ihre Ruhelage schwingen.

Stille



Luftmolekül

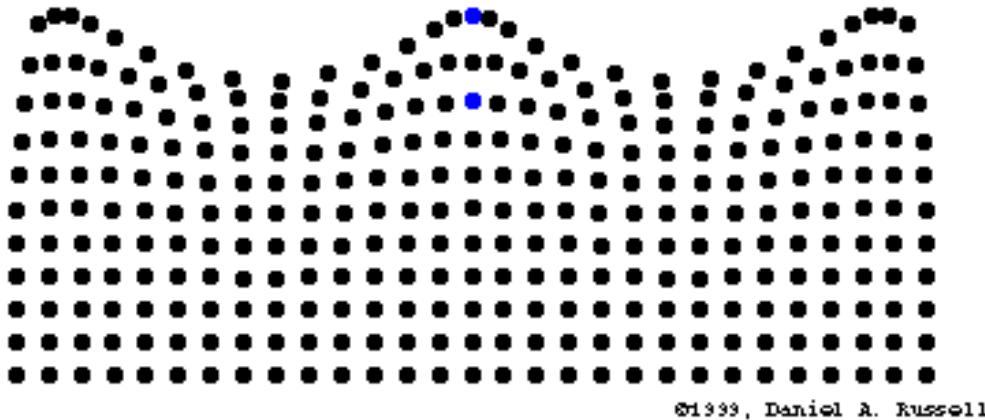
Frequenz f



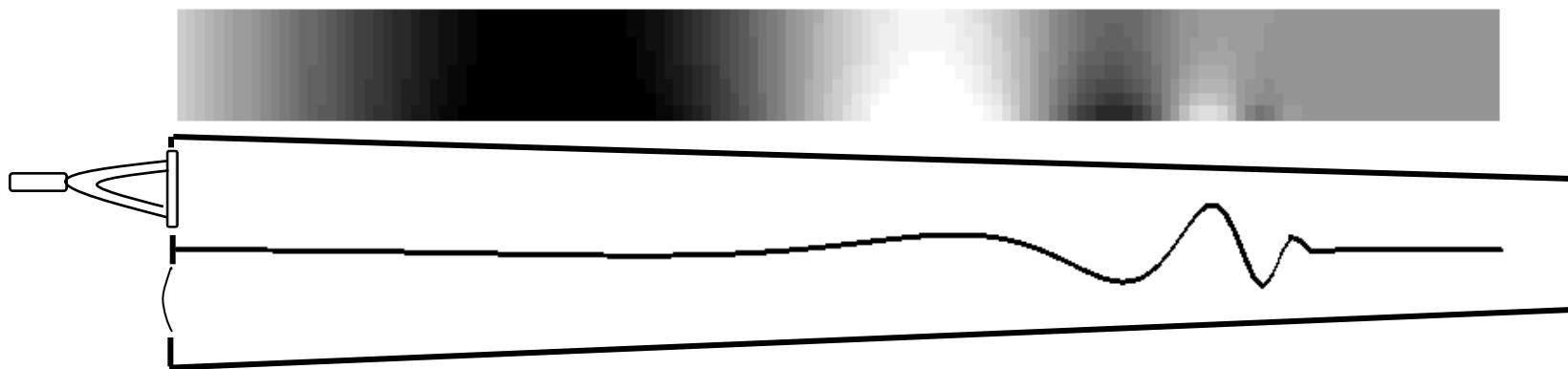
Frequenz $f = 1/T$
[1/s=Hz]
Anzahl der Schwingungen
pro Sekunde

Dynamisches Verhalten:

Teilchenverlauf bei einer Oberflächenwelle

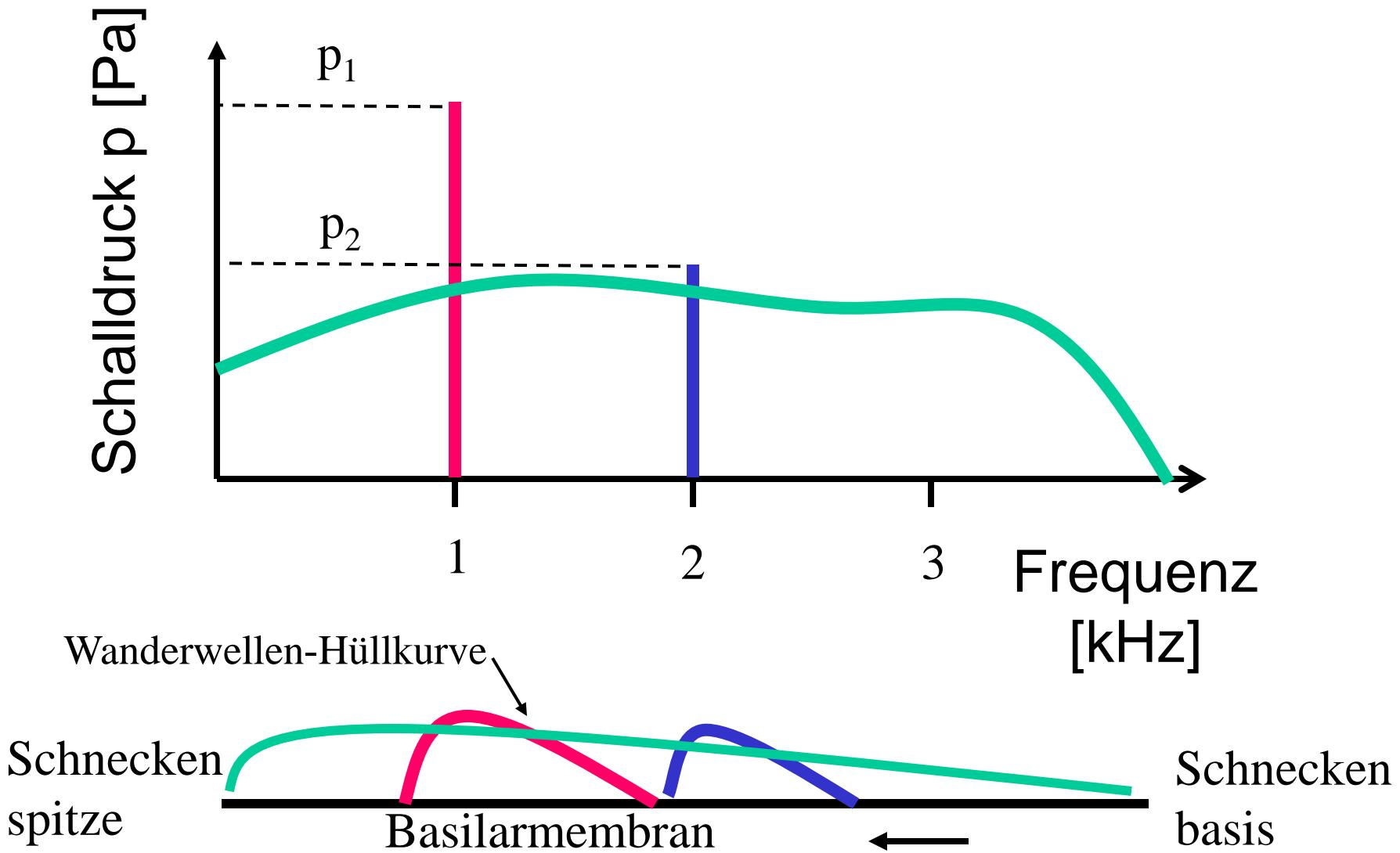


Critical-layer absorption (Lighthill, 1981)



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

Spektralfunktion Sinuston / Klick

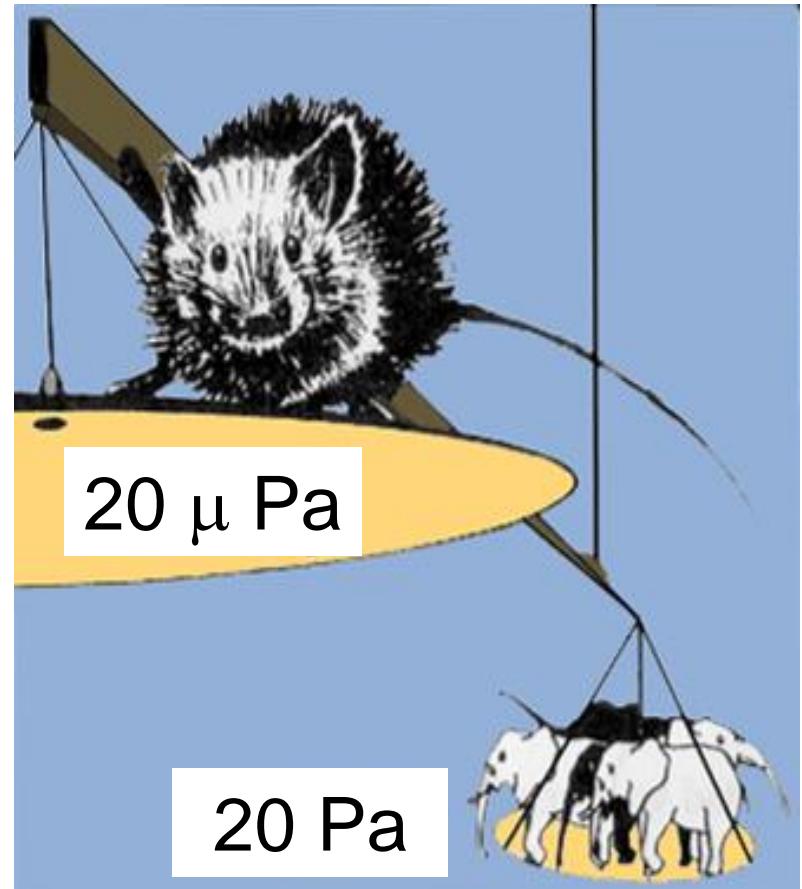


Leistungen des Hörorgans

Hörbarer Schalldruck

Hörschwelle

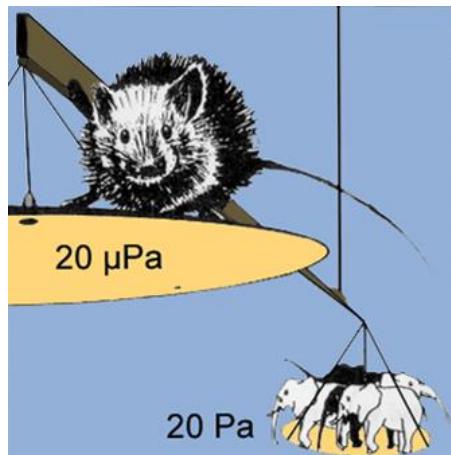
Unbehaglichkeitsschwelle



Schalldruck p [Pa]

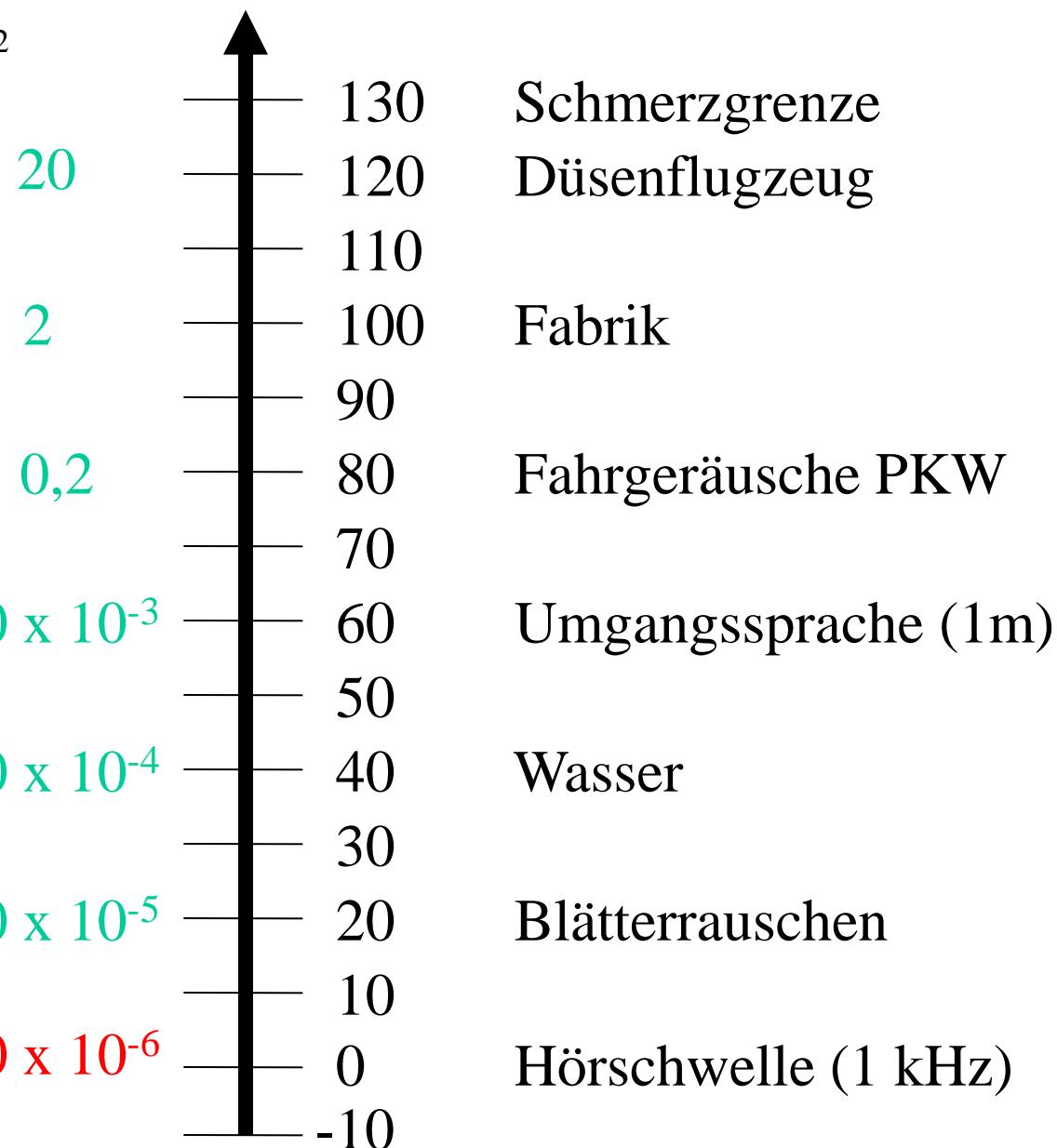
$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$L = 20 \log \frac{p}{p_0}$$



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

Schalldruckpegel L [dB SPL]



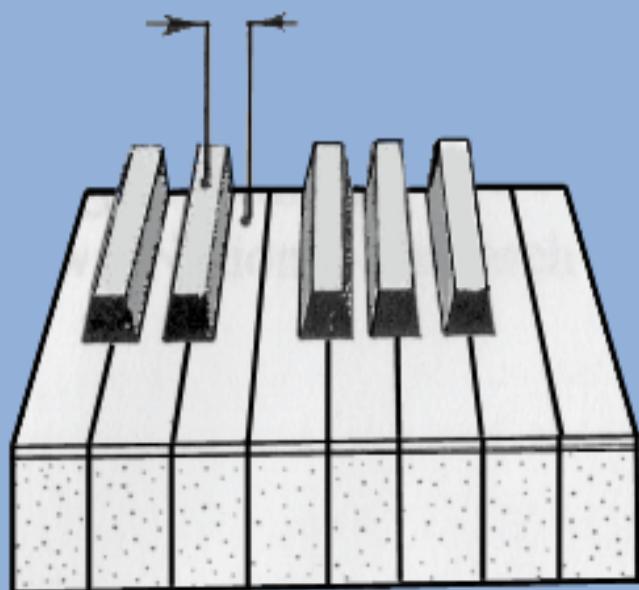
Frequenzauflösung

1000 Hz + Hintereinander

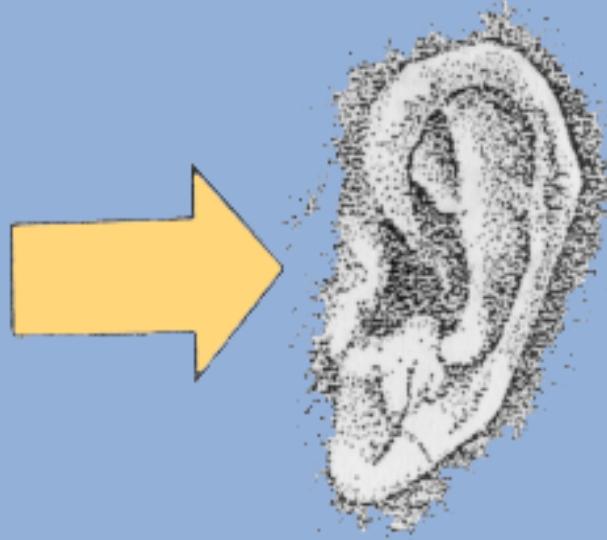


1002 1005 1010 2000 Hz

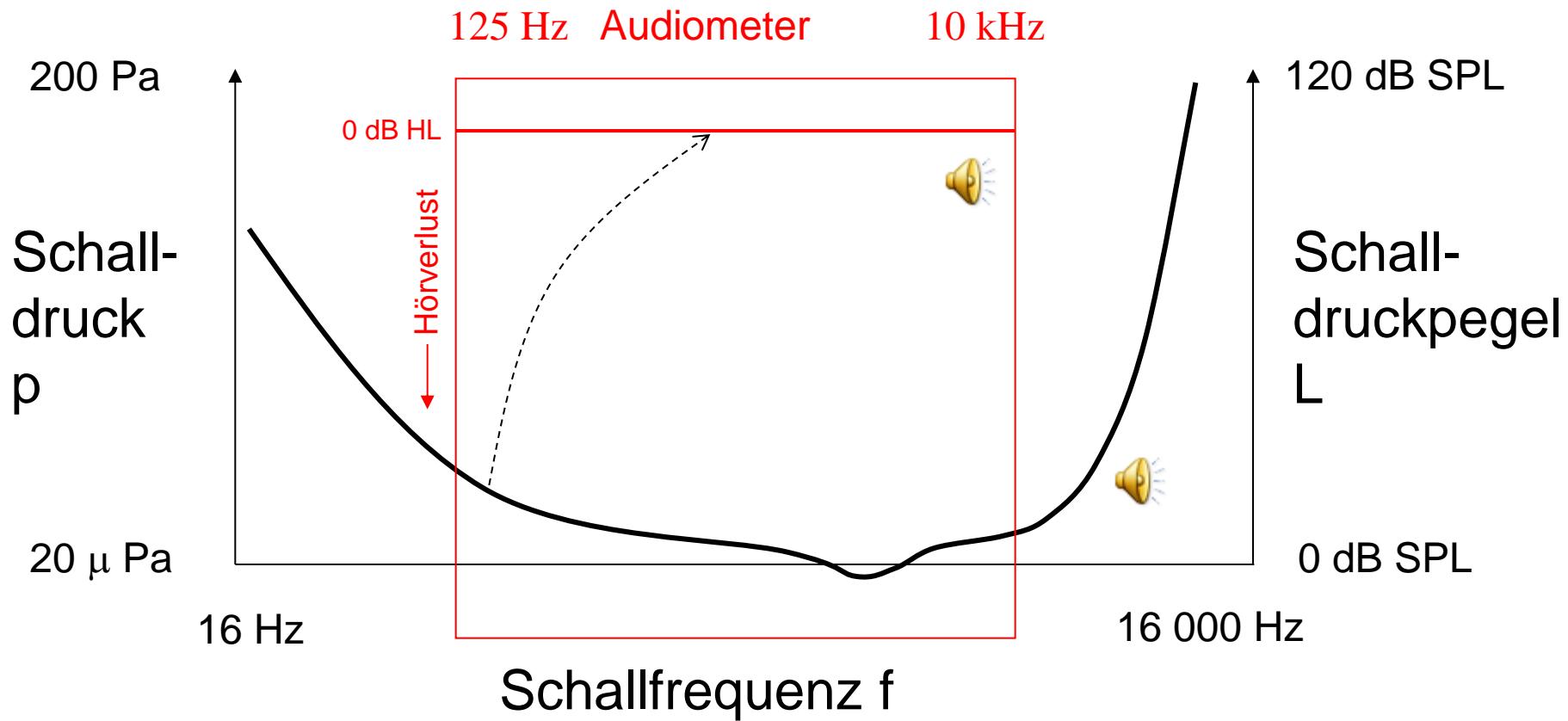
$$\Delta f = 6\%$$



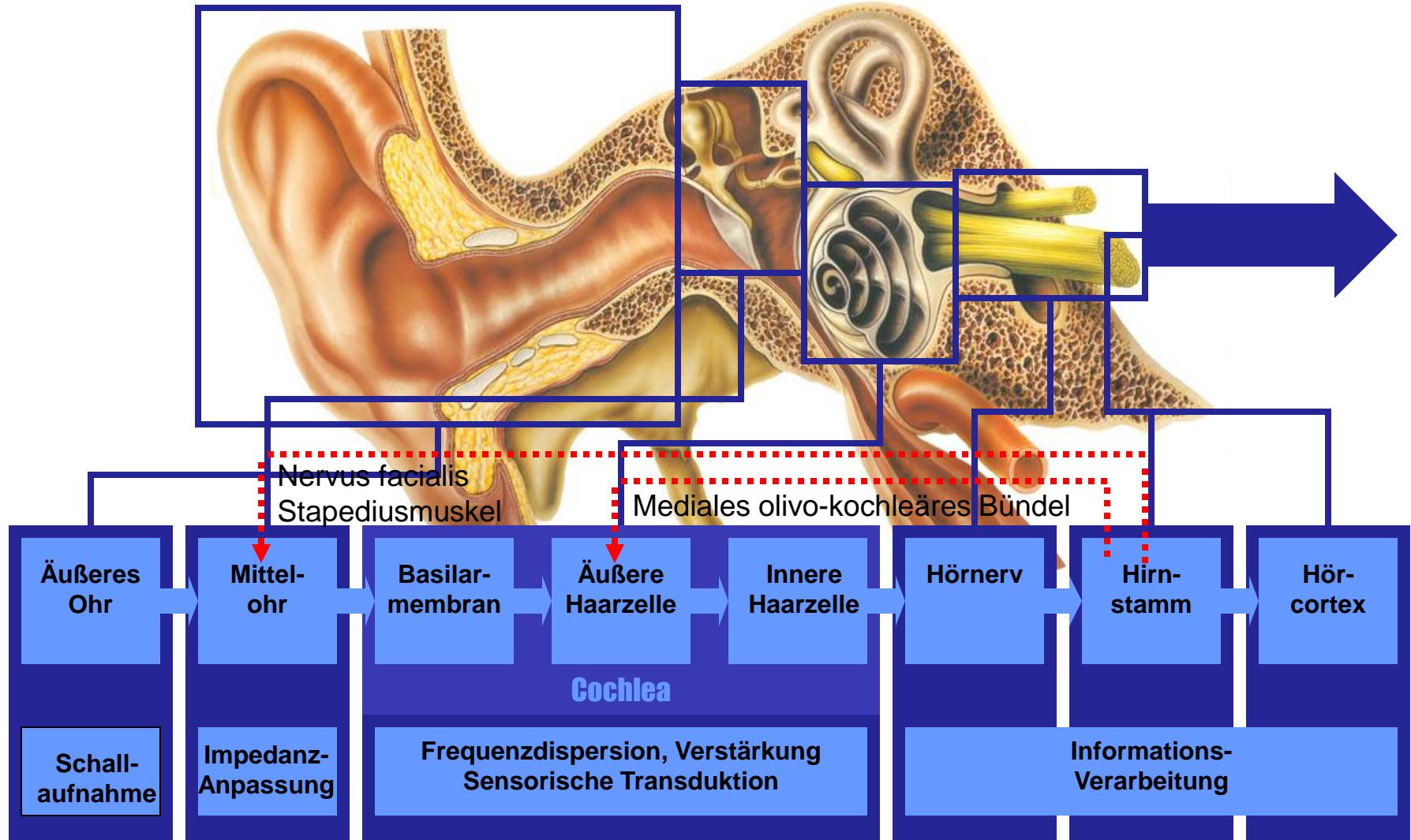
$$\Delta f = 0.2\%$$

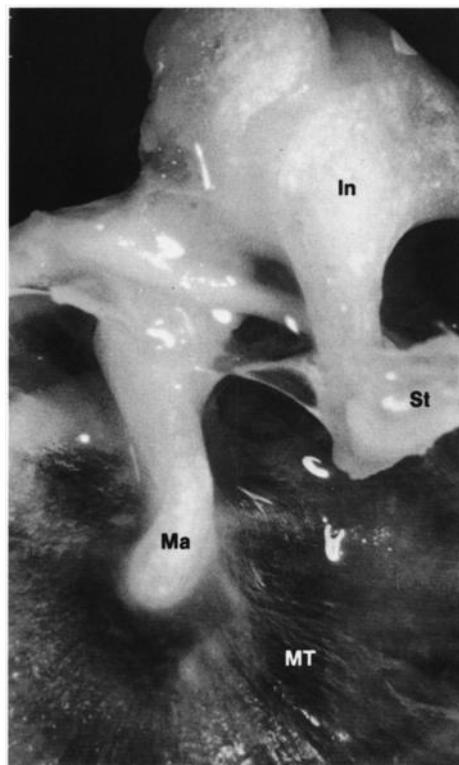


Hörschwelle

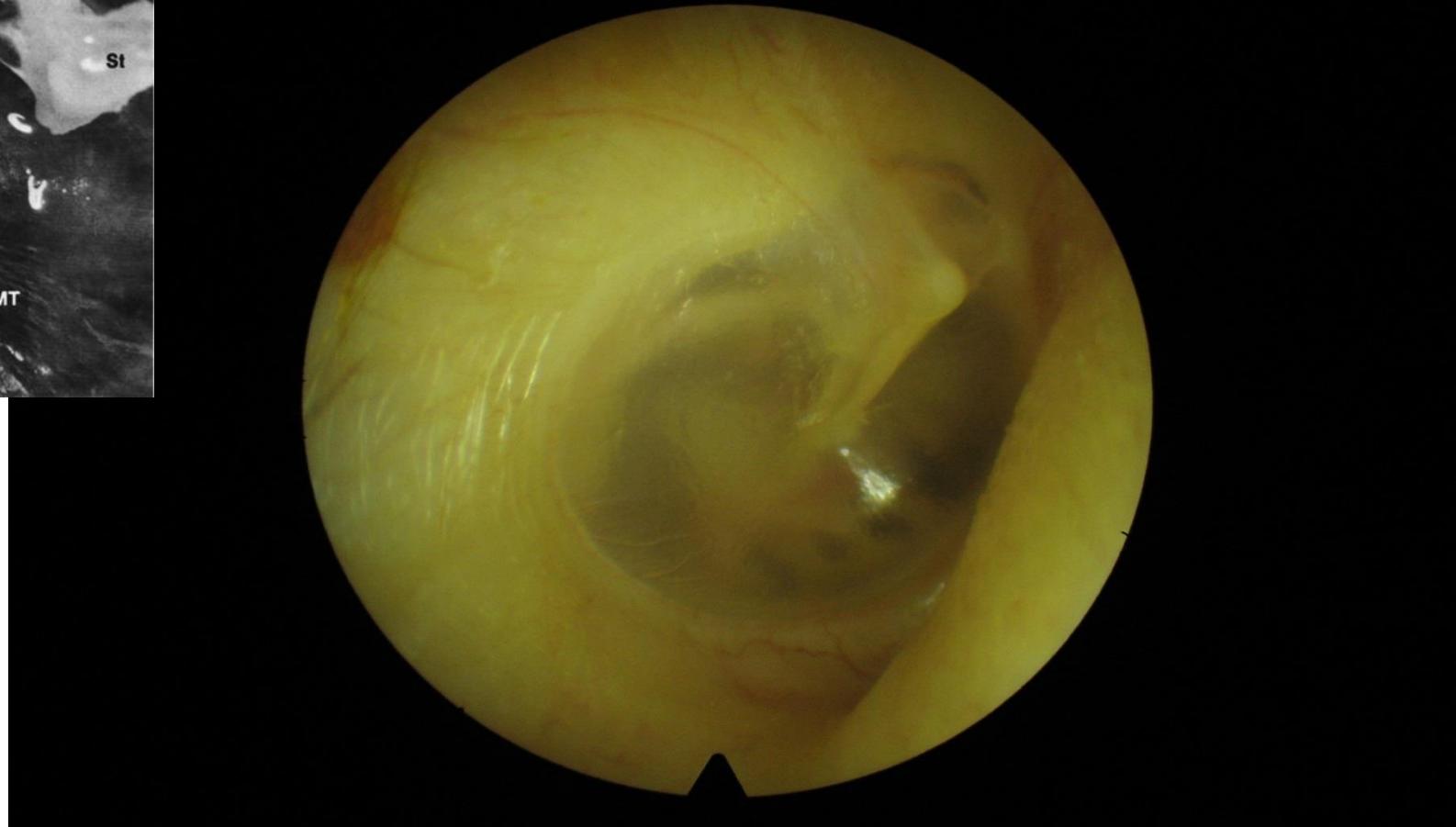


Funktionelle Organisation





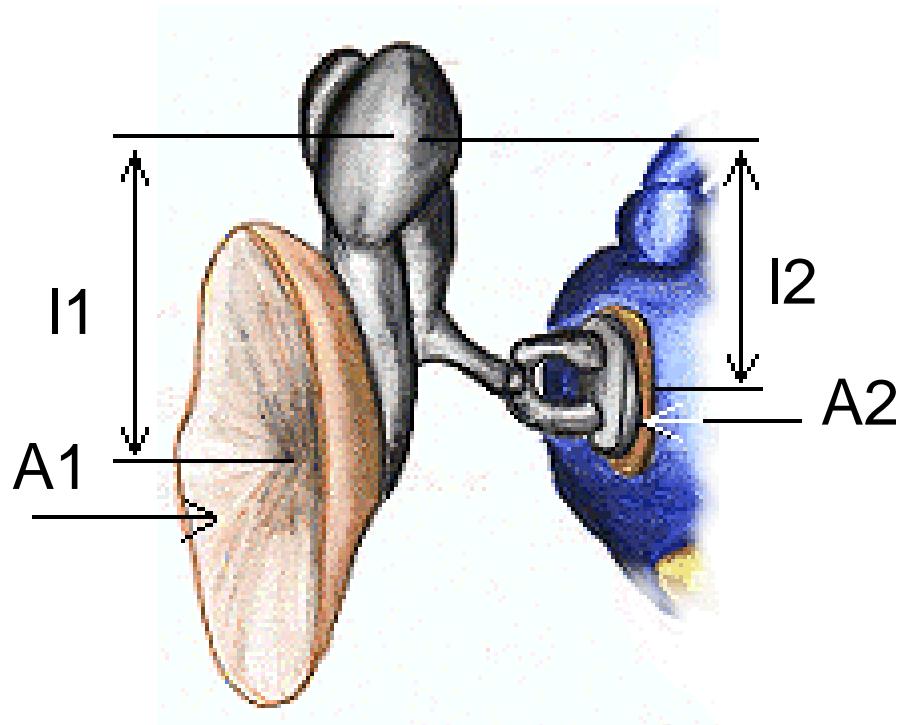
aus: Bildatlas
Innenohr,
Duphar
Pharma, 1983



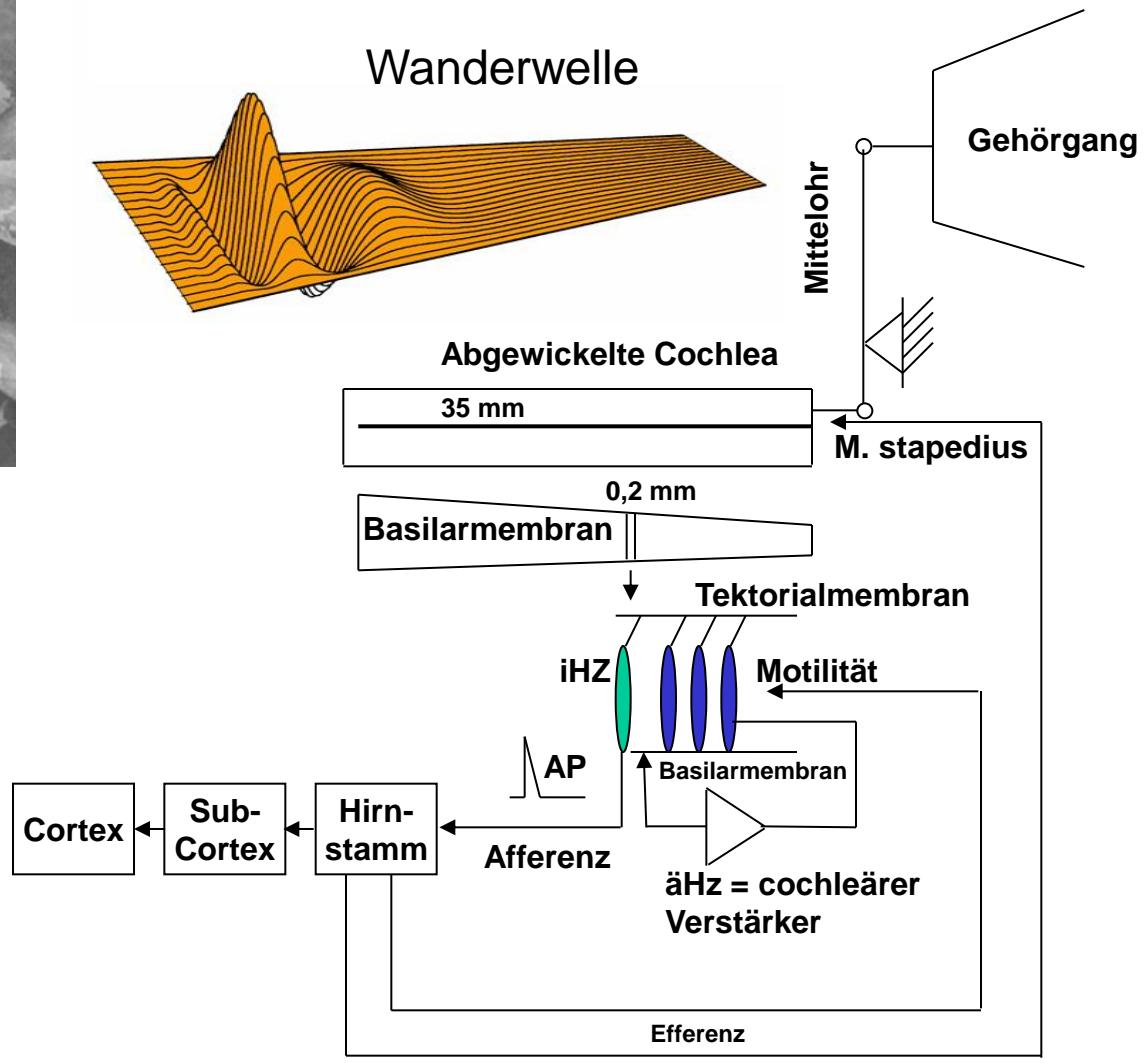
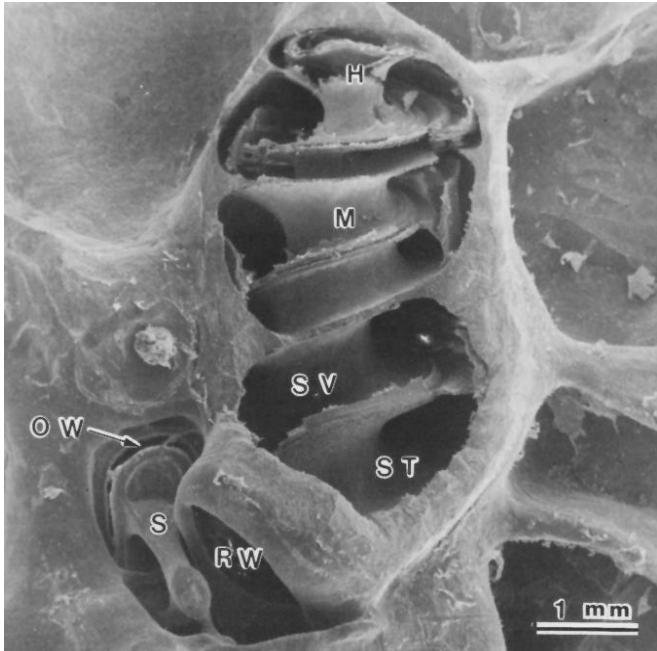
Trommelfell mit „Hammergriff“ und Lichtreflex

Mittelohr-Funktion

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

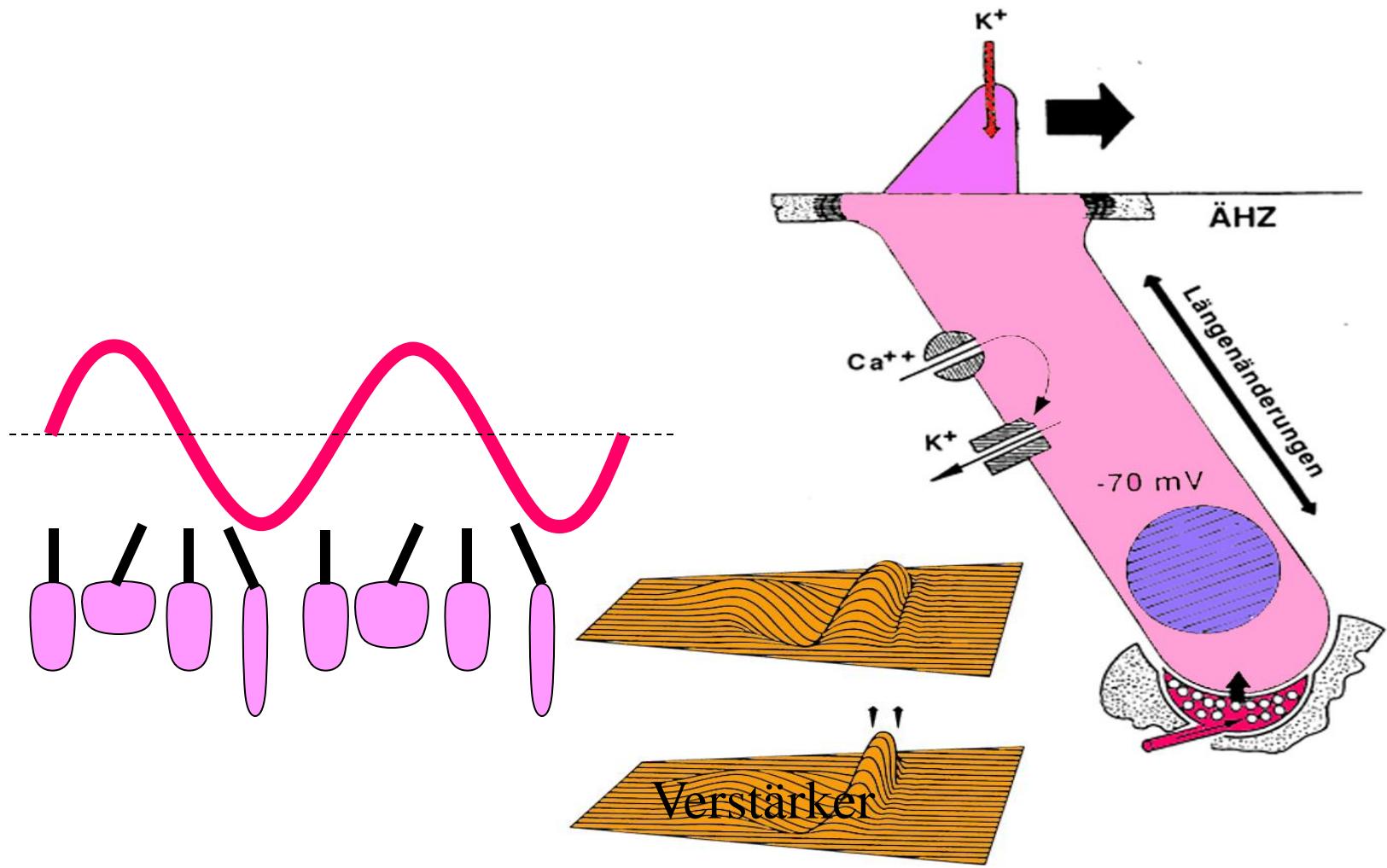


$A_1 / A_2 \approx 28$
Druckerhöhung



Mikromechanik → Schallverstärkung

Äußere Haarzelle Schallverstärkung

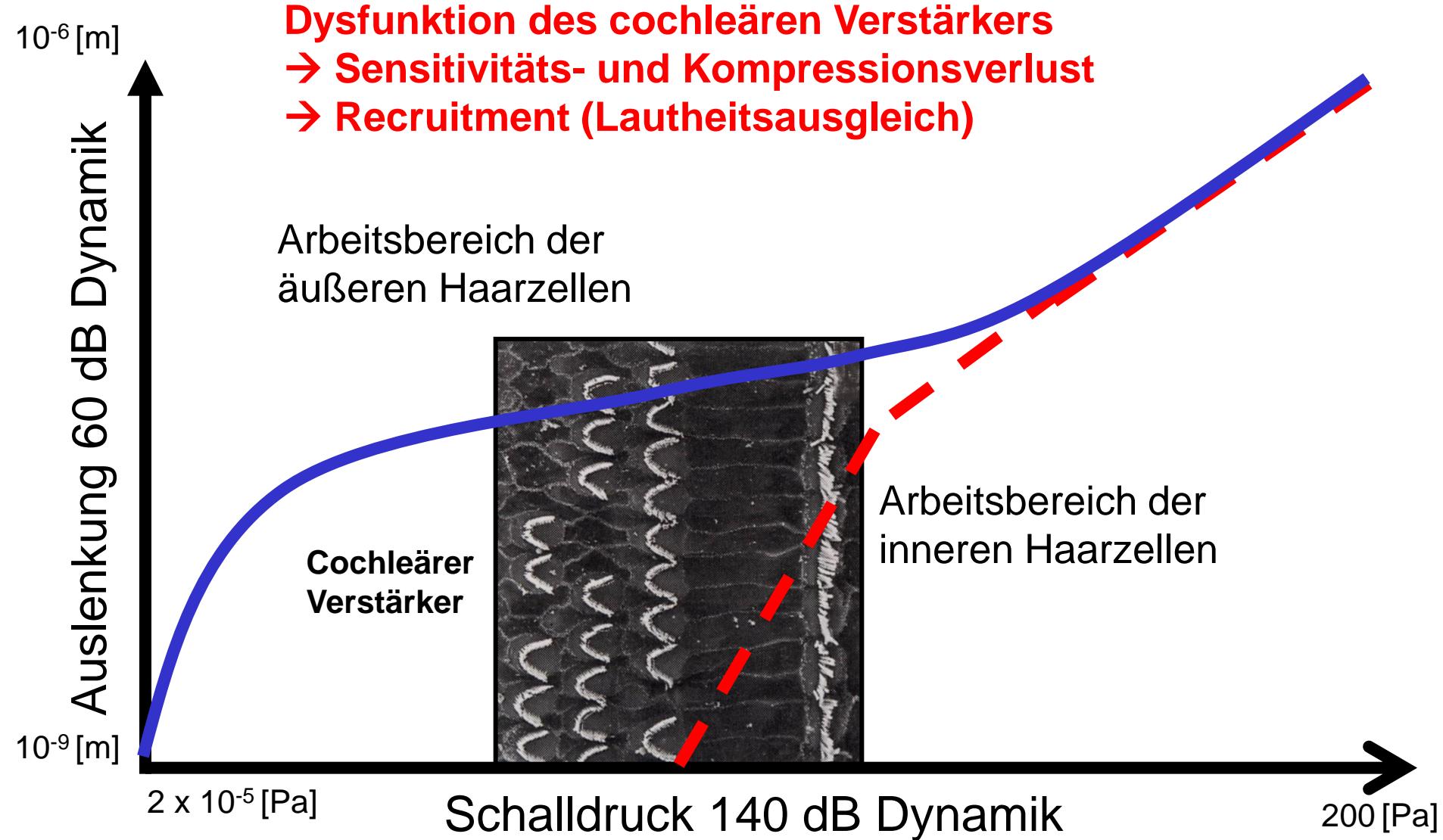


Äußere Haarzelle Schallverstärkung

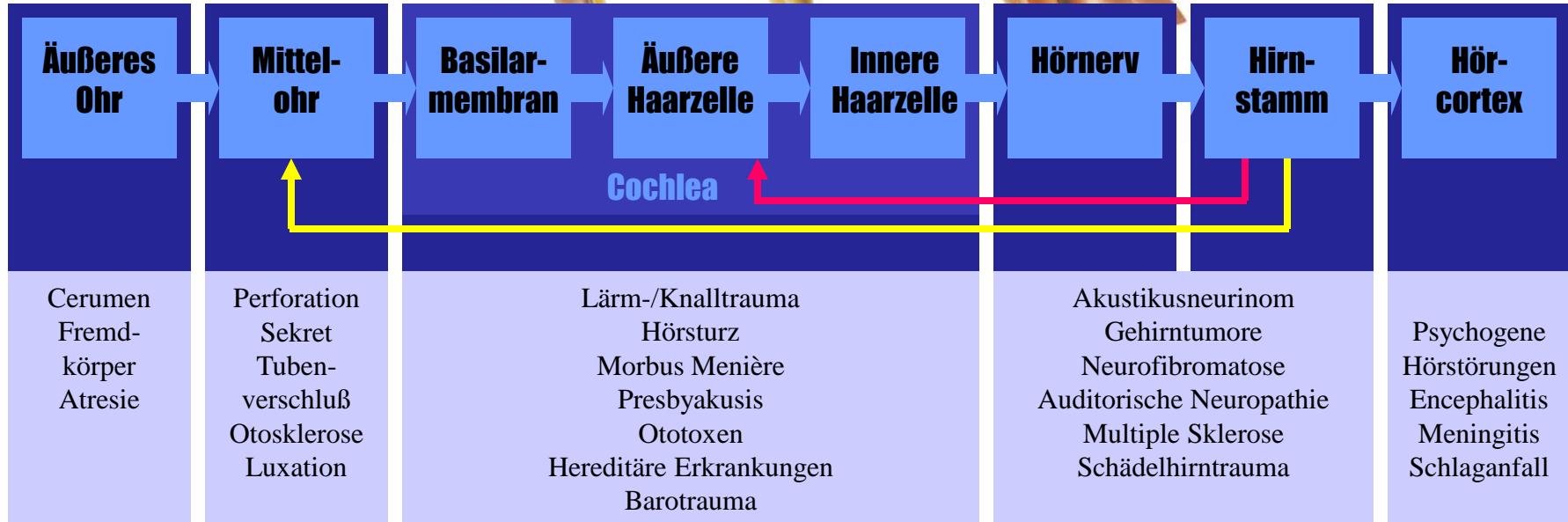
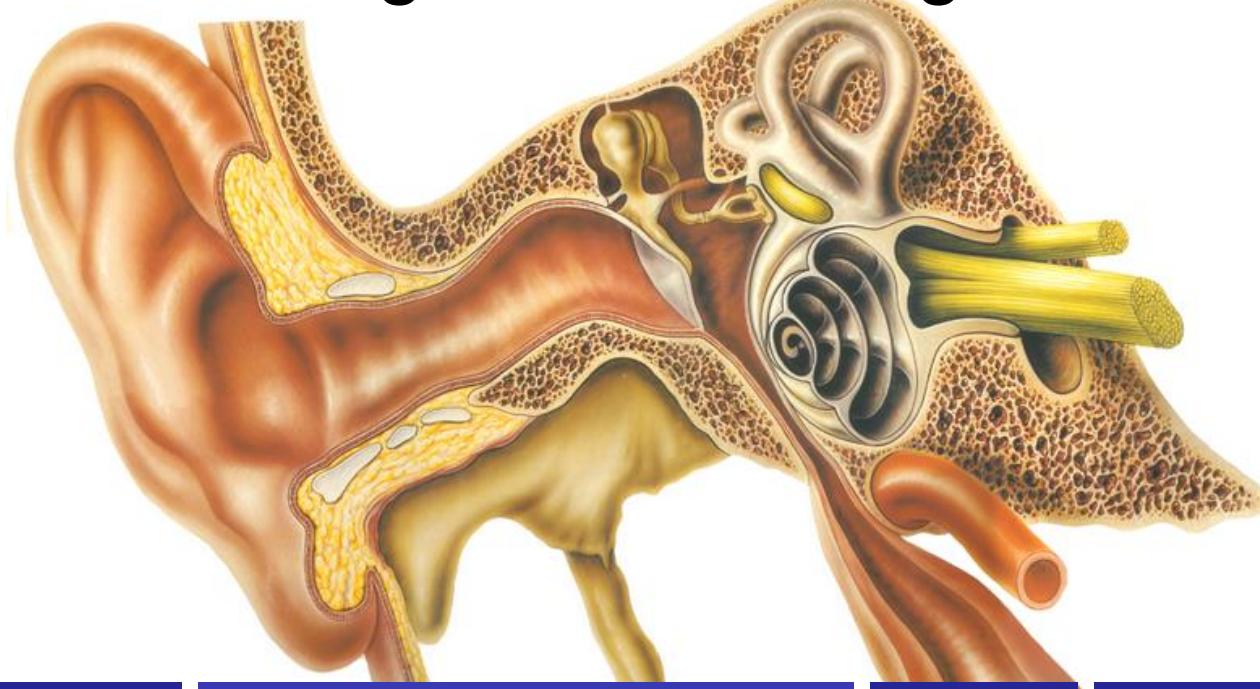


Rocking outer hair cells (Ashmore 1987)

Kompressive Nichtlinearität



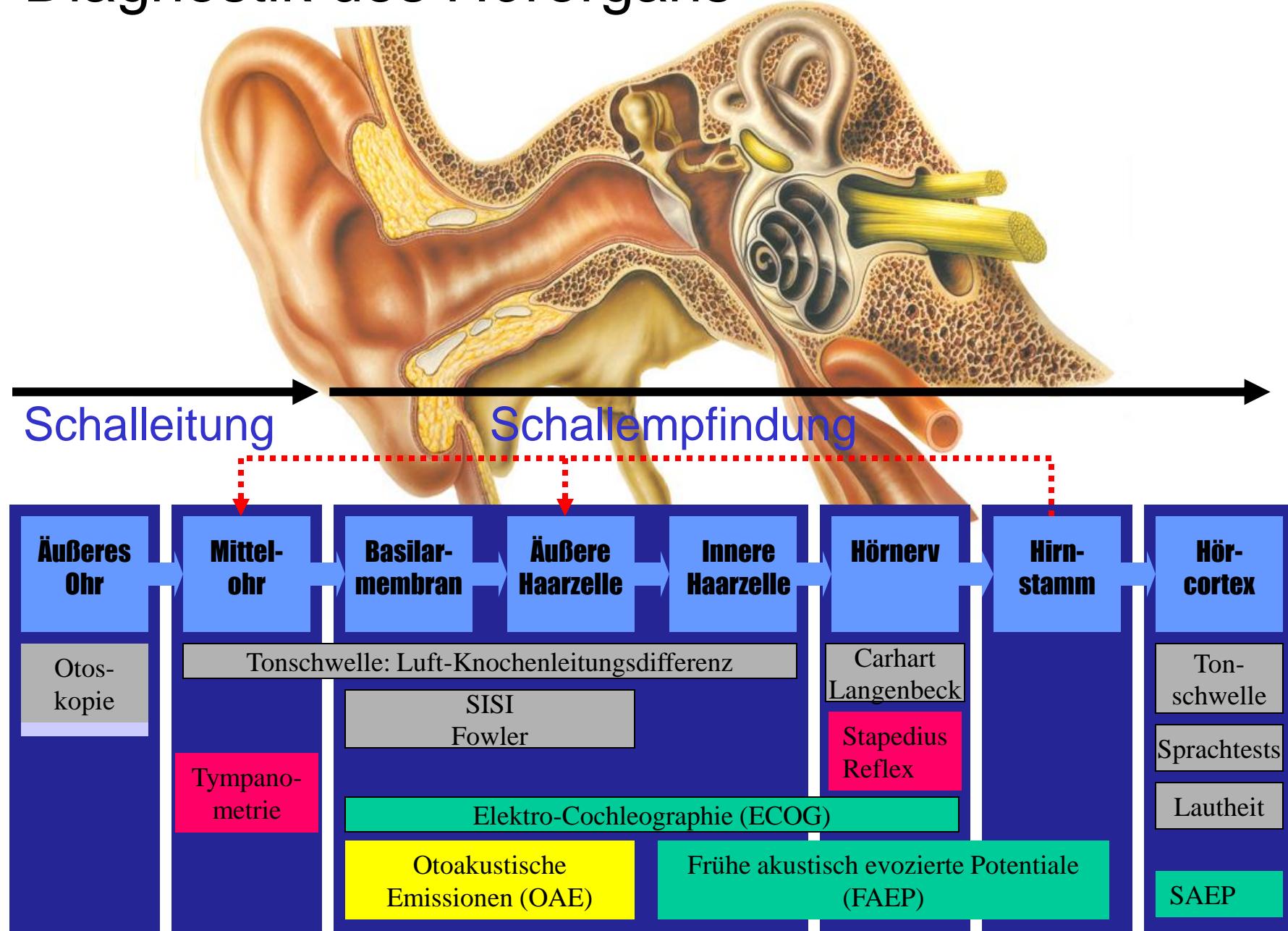
Funktionsstörungen des Hörorgans



Schwerhörigkeit



Diagnostik des Hörorgans



Hörprüfungsmethoden

- „Subjektive“ Verfahren

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

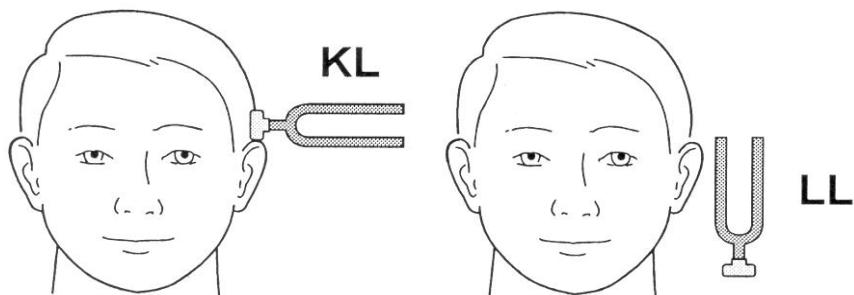
- „Objektive“ Verfahren

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

Stimmgabelprüfung

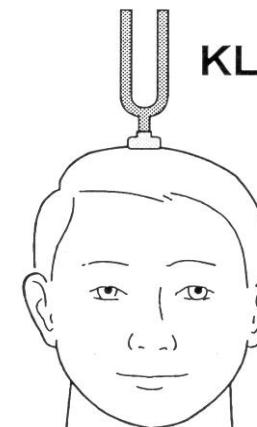
Rinne-Test

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



Weber-Test

„Auf welcher Seite
ist der Ton zu hören?“



Normales Mittelohr

LL lauter als KL
„Rinne positiv“

Mittelohrhörverlust

KL lauter als LL
„Rinne negativ“

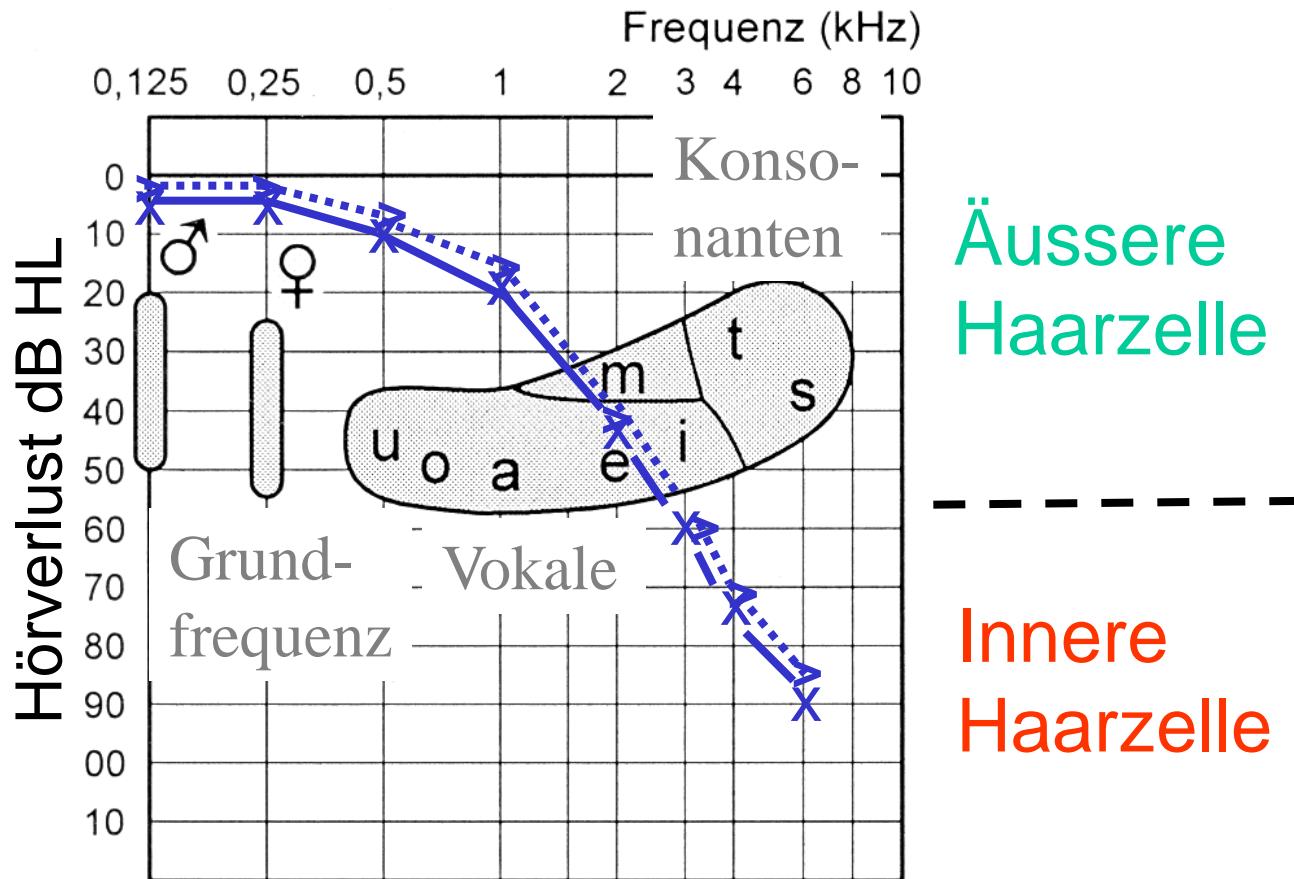
Ton auf der Seite des
besseren Innenohres

Ton auf der Seite des
schlechteren Mittelohres

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



Tonschwellenaudiogramm

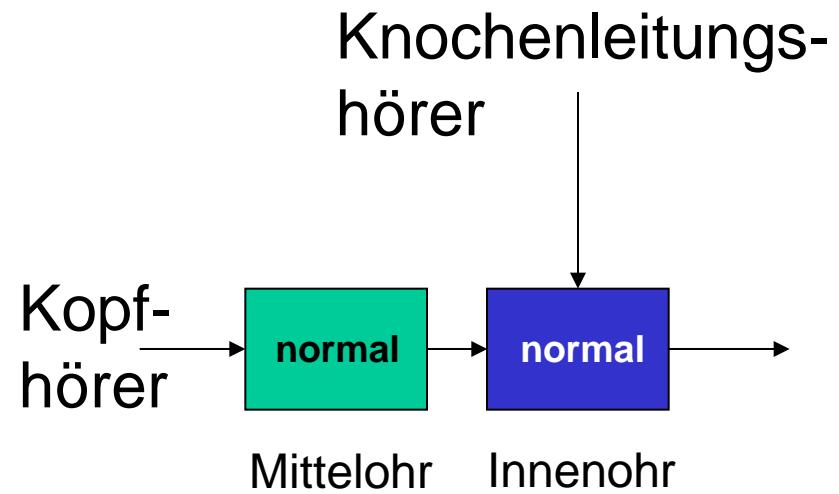
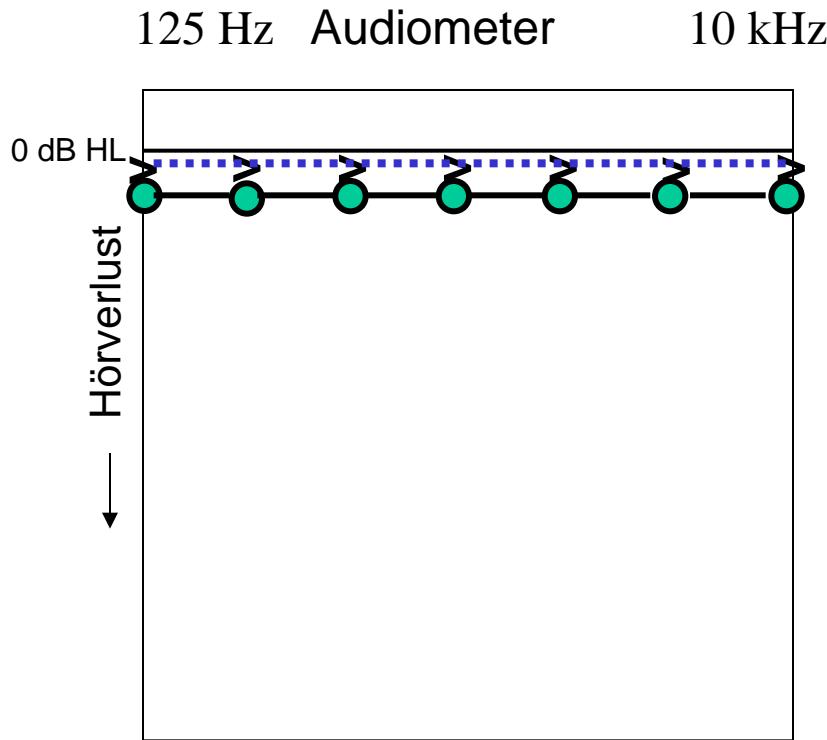


Sprachfeld.

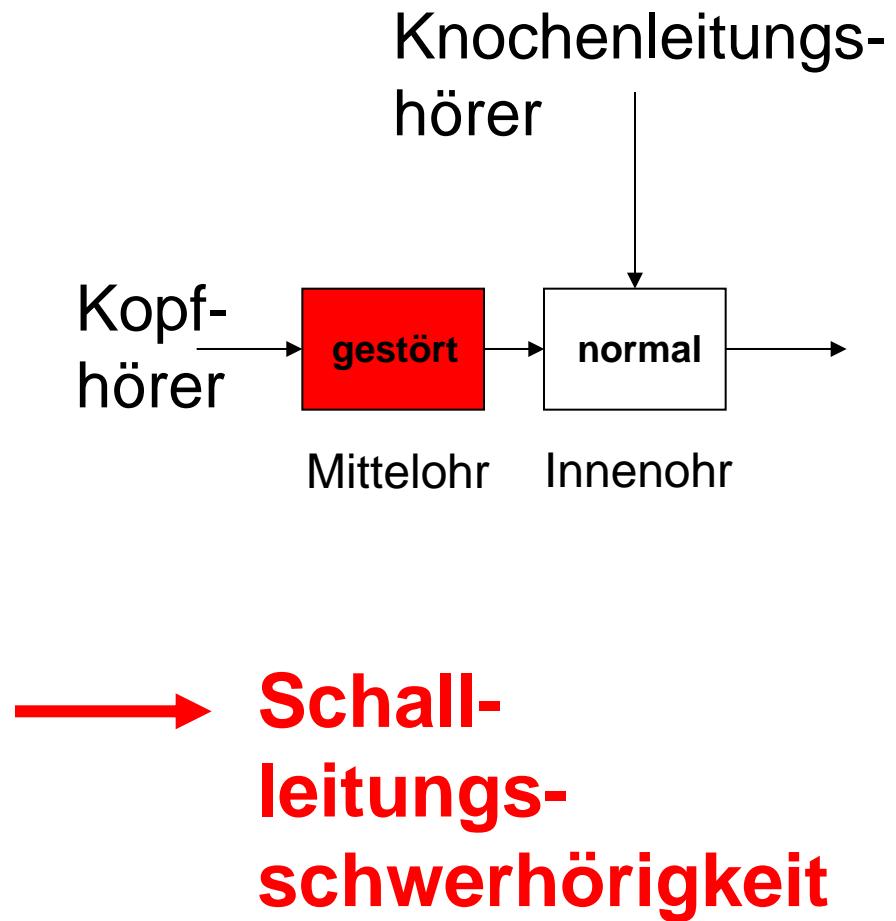
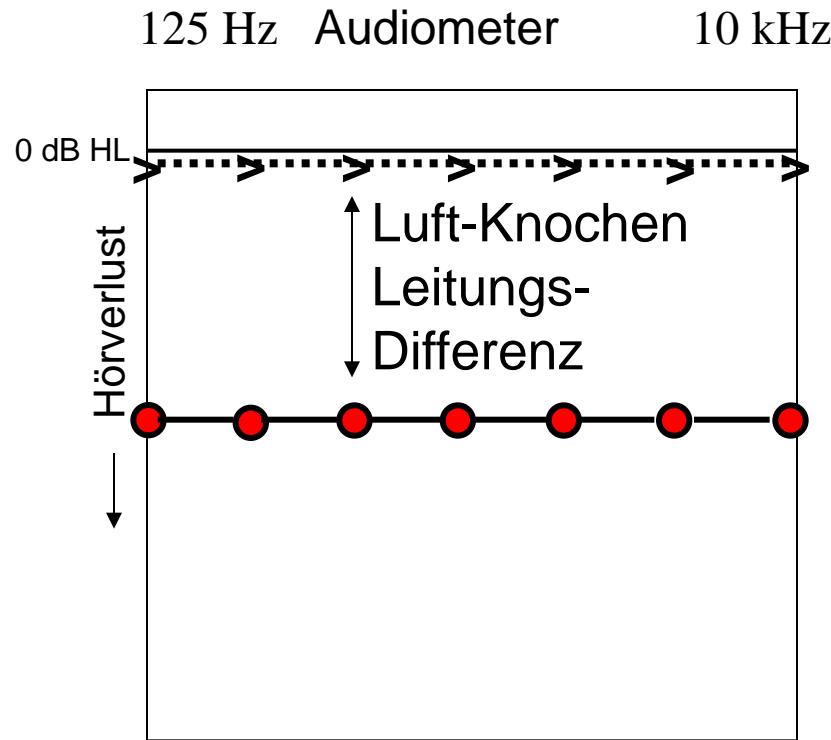
!

500 Hz – 8 kHz

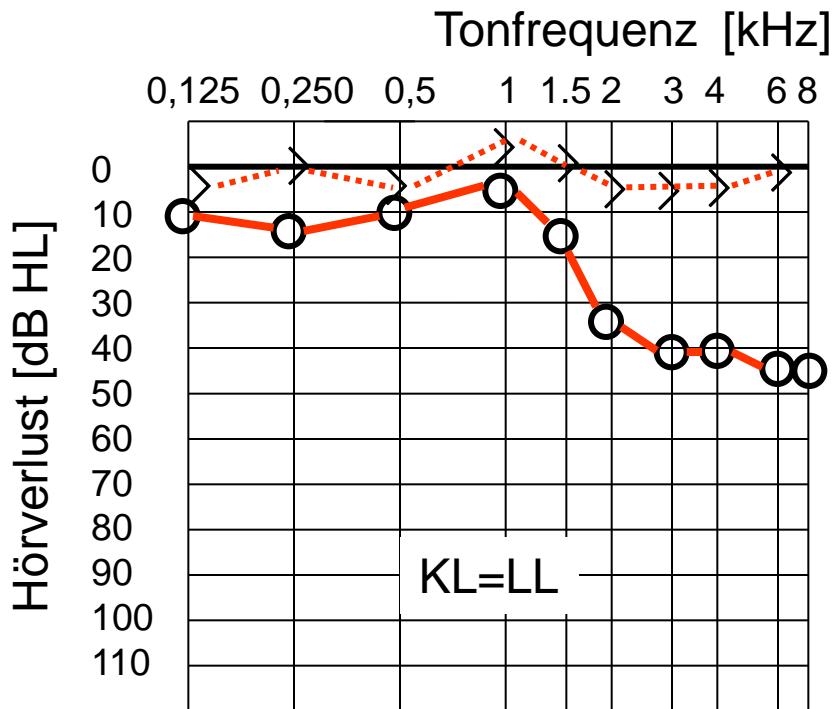
Tonschwelle in Luft und Knochen



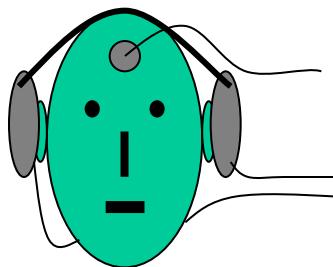
Tonschwelle in Luft und Knochen



Schalleitungsschwerhörigkeit

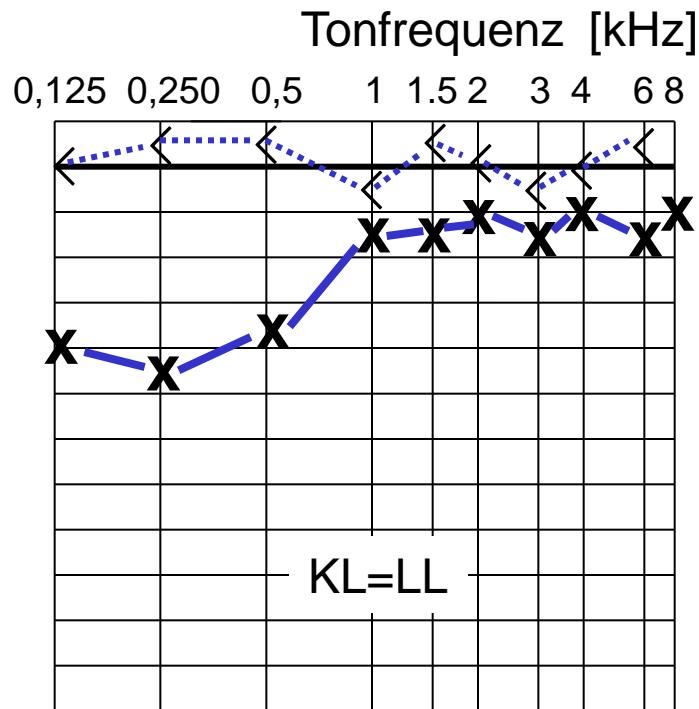


Paukenhöhlenerguss



Knochenleitungshörer (KL)

Luftleitungshörer (LL)



Otosklerose

r. Ohr

>....>

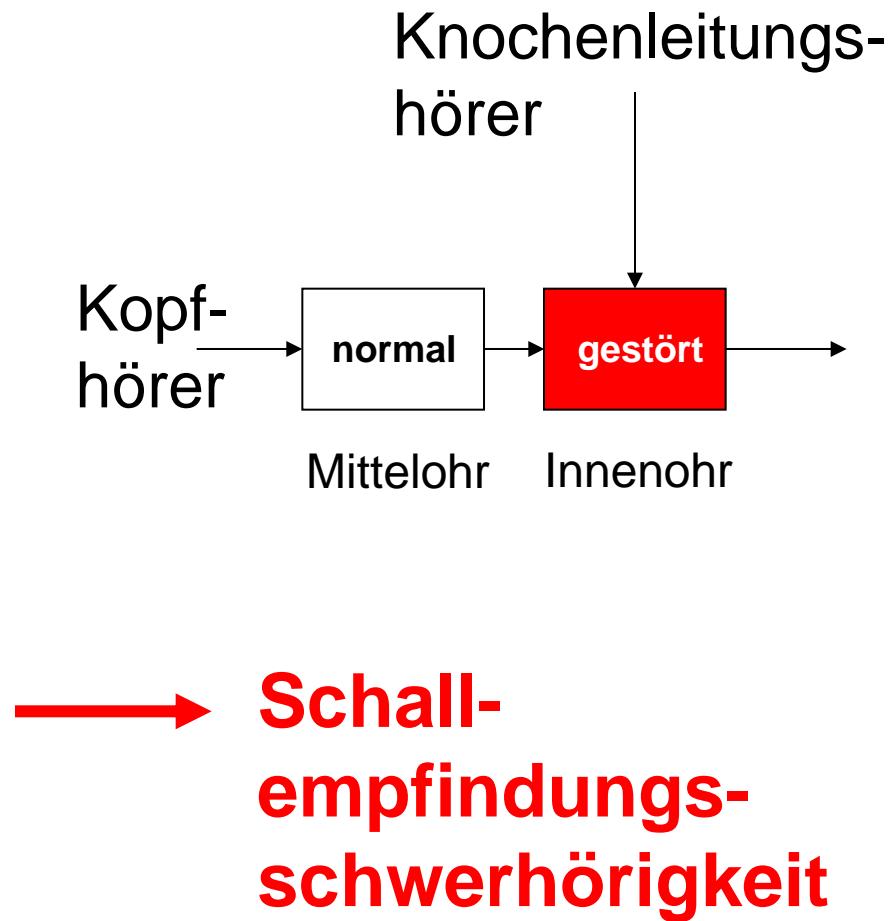
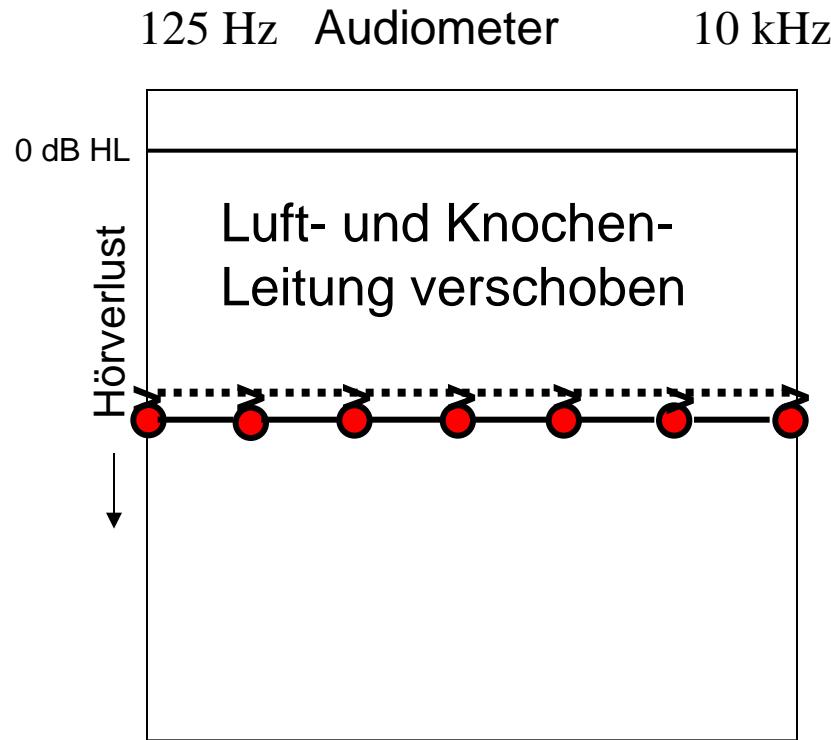
○—○

l. Ohr

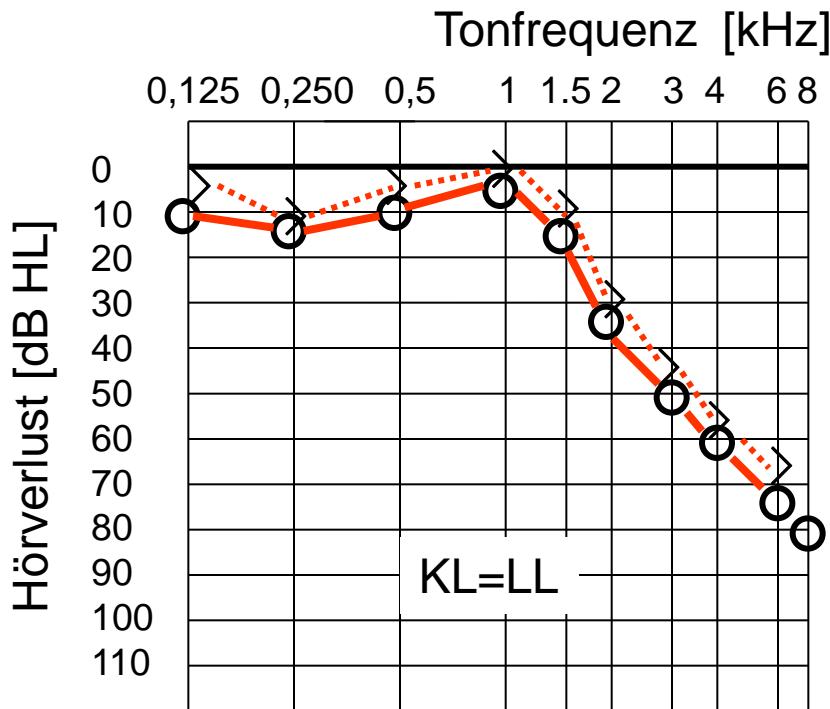
<....<

X—X

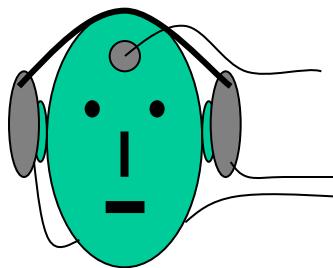
Tonschwelle in Luft und Knochen



Schallempfindungsschwerhörigkeit

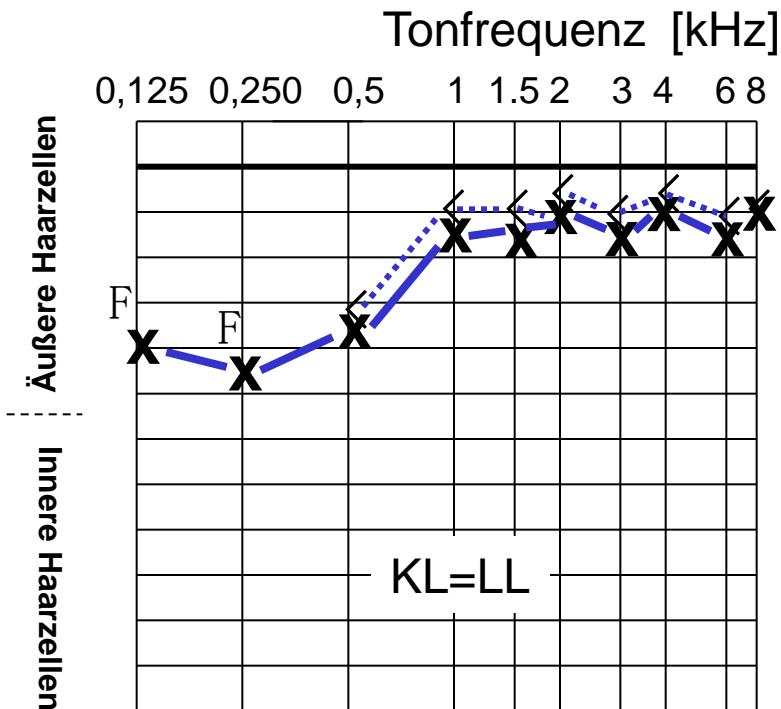


Lärmschwerhörigkeit



Knochenleitungshörer (KL)

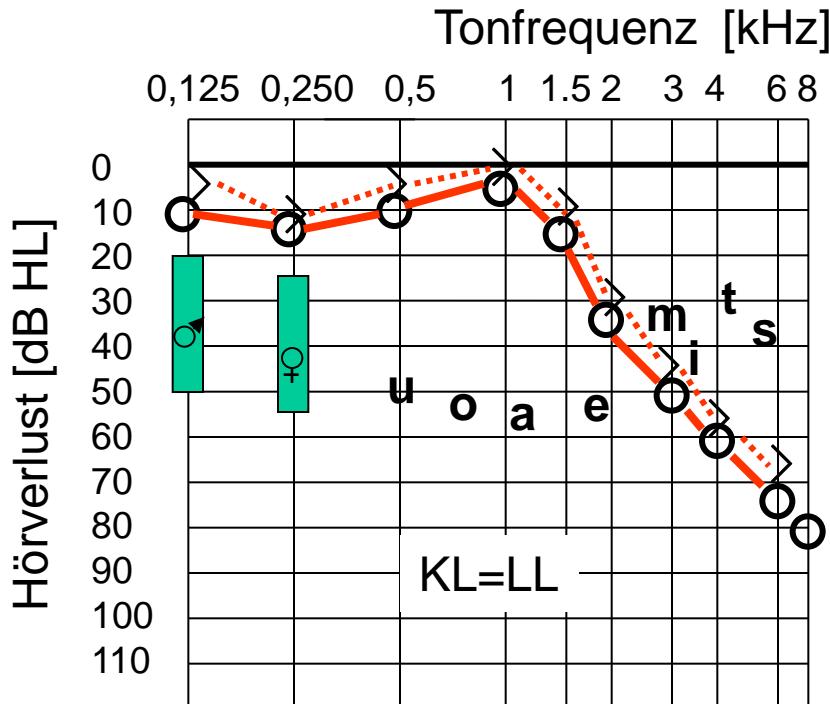
Luftleitungshörer (LL)



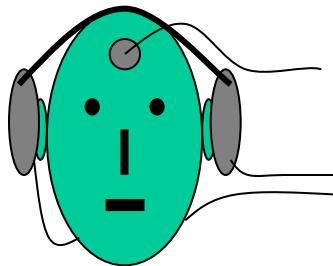
Morbus Menière

r. Ohr	l. Ohr
>...>	<...<
○—○	X—X

Schallempfindungsschwerhörigkeit

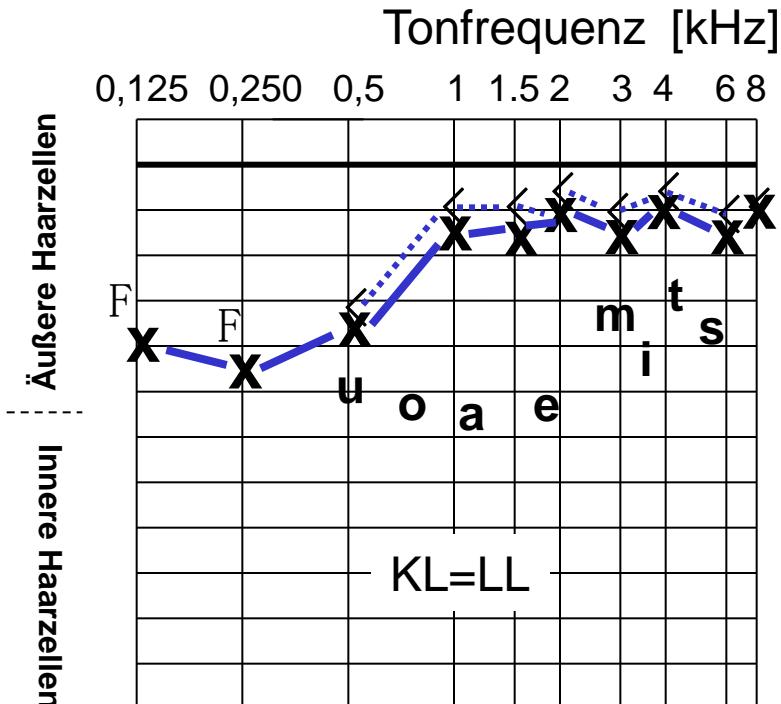


Lärmschwerhörigkeit



Knochenleitungshörer (KL)

Luftleitungshörer (LL)



Morbus Menière

r. Ohr

>...>

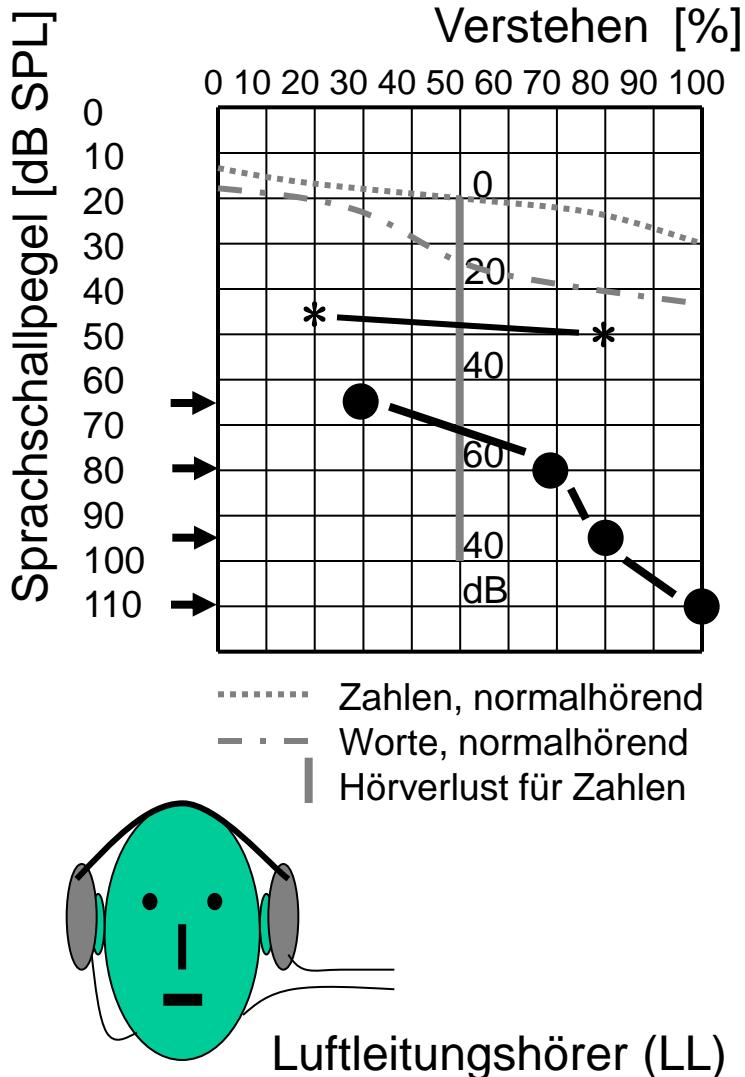
○—○

l. Ohr

<...<

X—X

Sprachaudiogramm (Freiburger, DIN 45621)



10 Zweistellige Zahlen (10 Gruppen)

1. 98 22 54 19 86 71 35 47 80 63

2. 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)

1. Ring Spott Farm Hang Geist Zahl Hund ...

2. Holz Ruß Mark Stein Glied Fleck Busch ...

.

.

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

(bei Lärmgutachten: 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

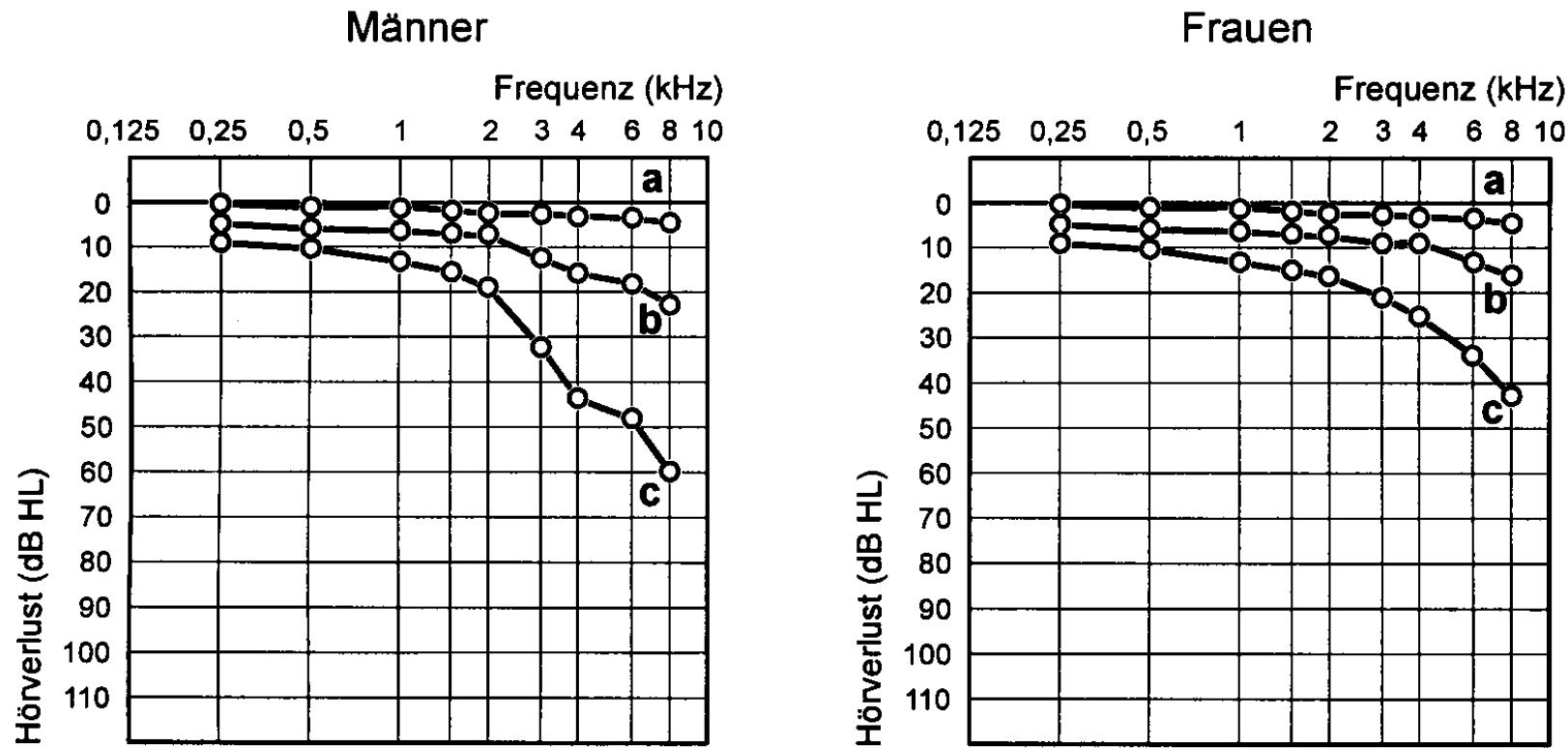
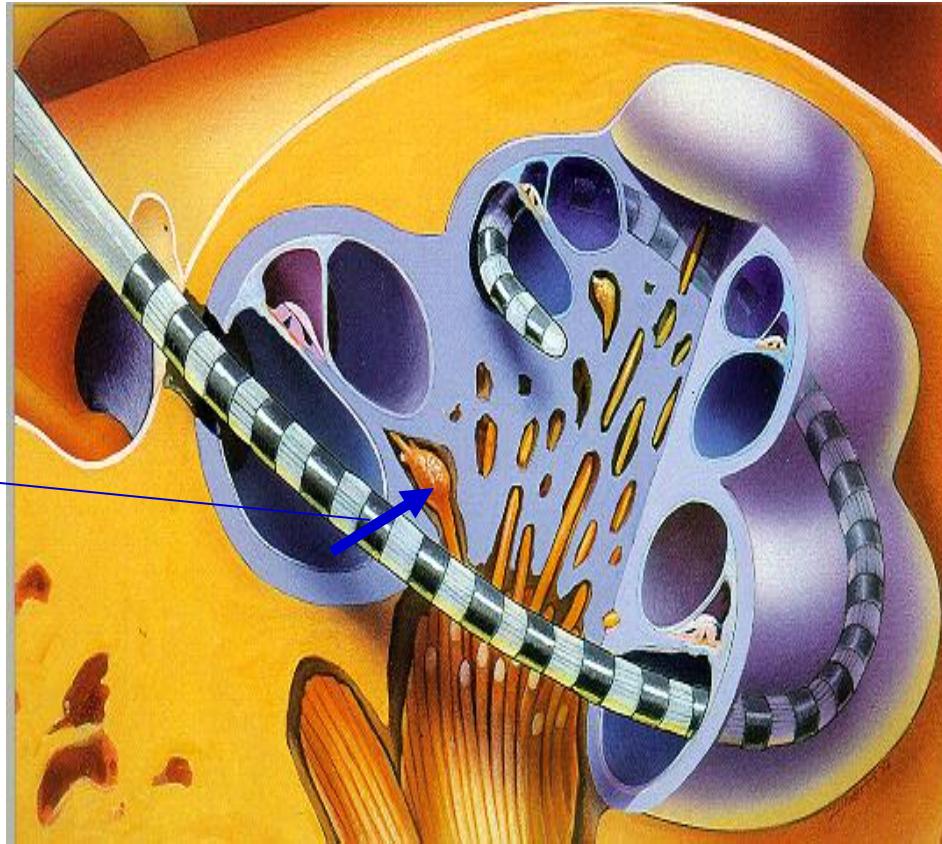


Abb. 3.5 Luftleitungshörschwelle in Abhängigkeit von Alter (a: 30; b: 50; c: 70 Jahre) und Geschlecht otologisch normaler Personen nach ISO 7029. Die dargestellten Schwellen werden in den Altergruppen von 50 % der Personen überschritten.

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

**„Elektrisches
Hören“
durch
elektrische
Stimulation**

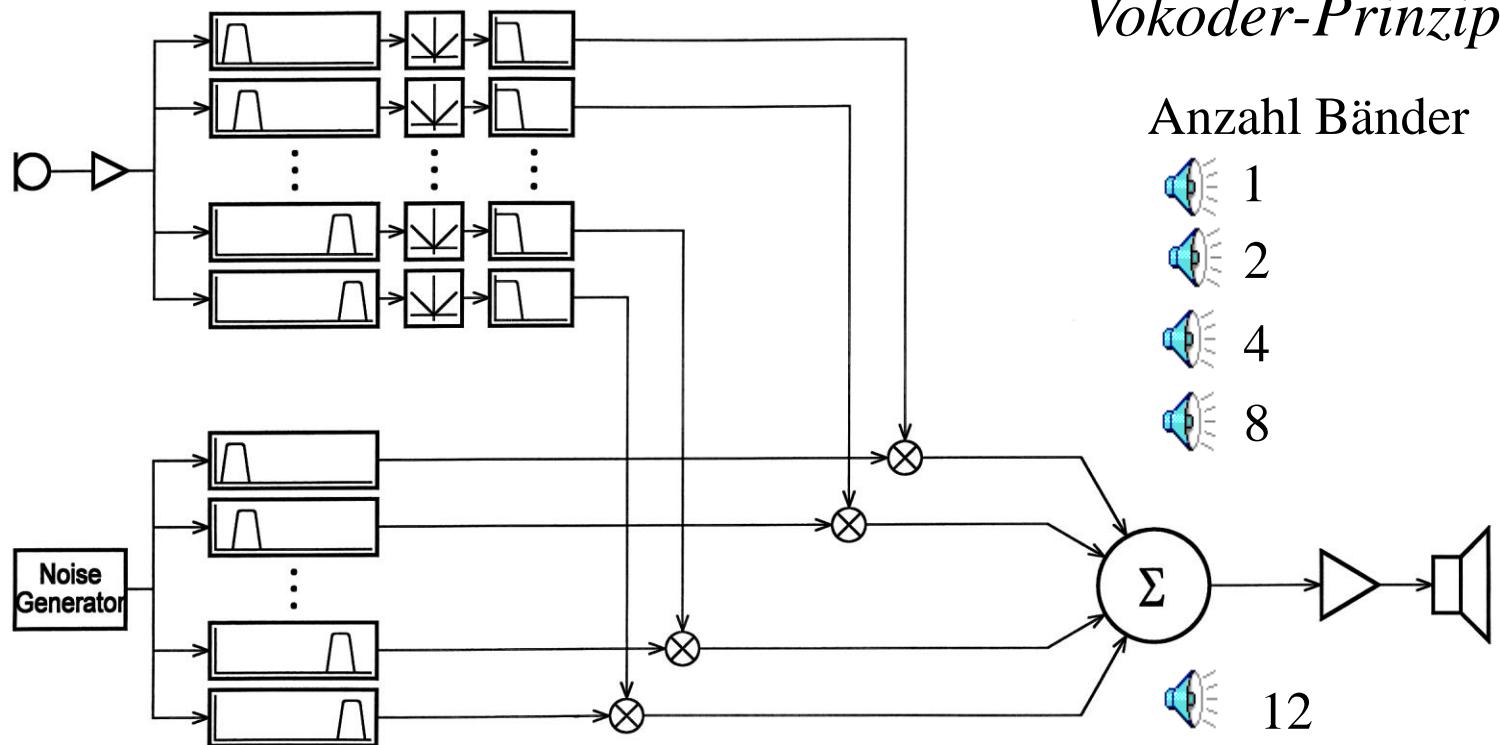


für Deutschland :

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“

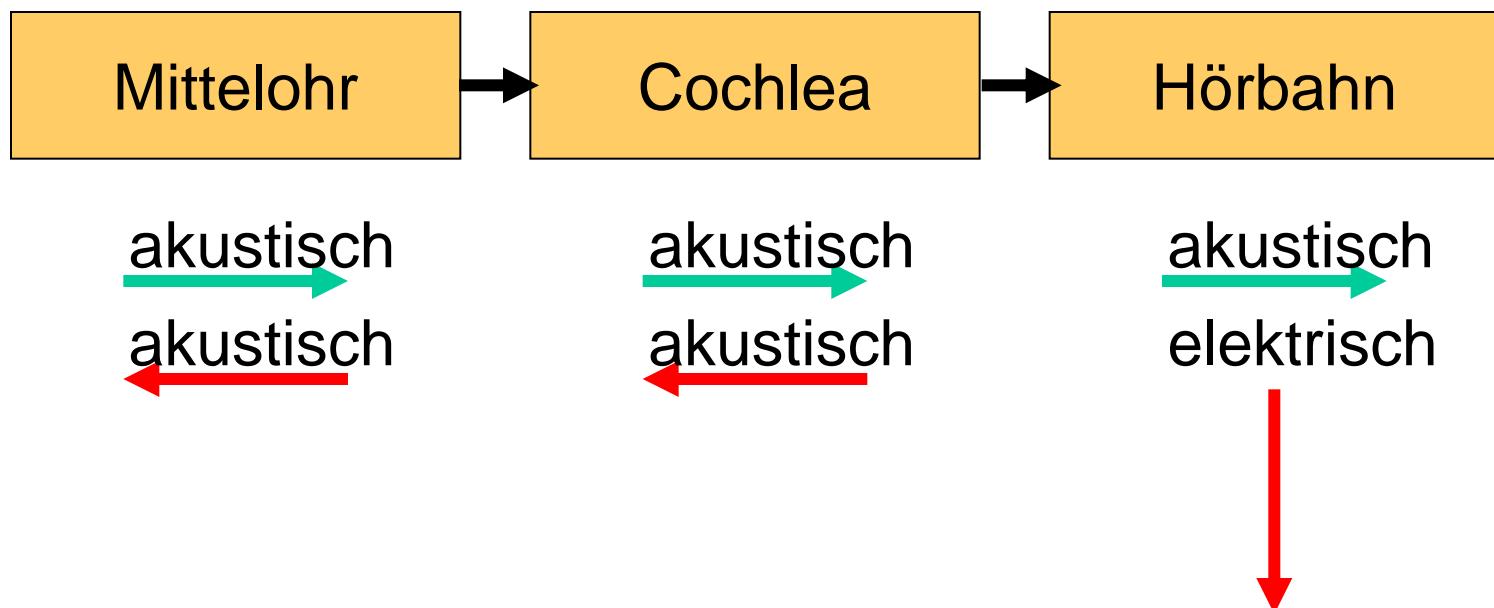
Blake Wilson, 1992

„Objektive“ Hörprüfungen

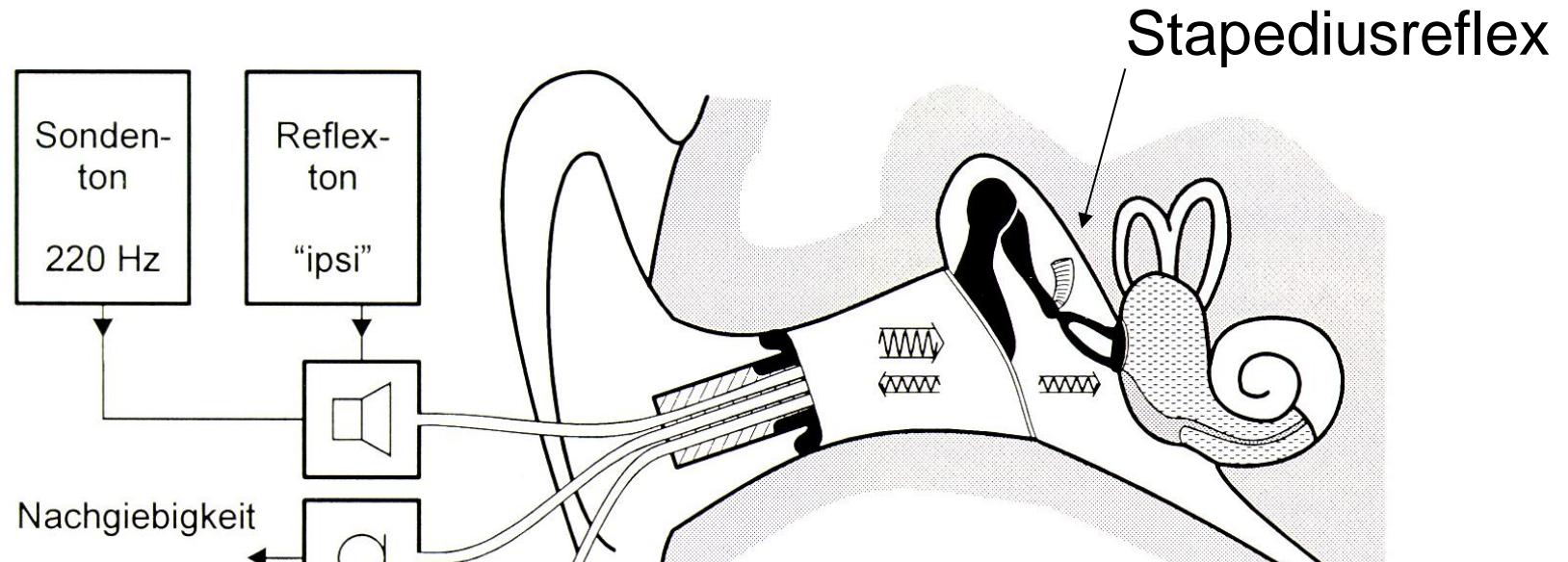
- Tympanometrie
- Otoakustische Emissionen (OAE)
- Akustisch evozierte Potentiale (B-ERA)



Objektive Hörprüfmethoden



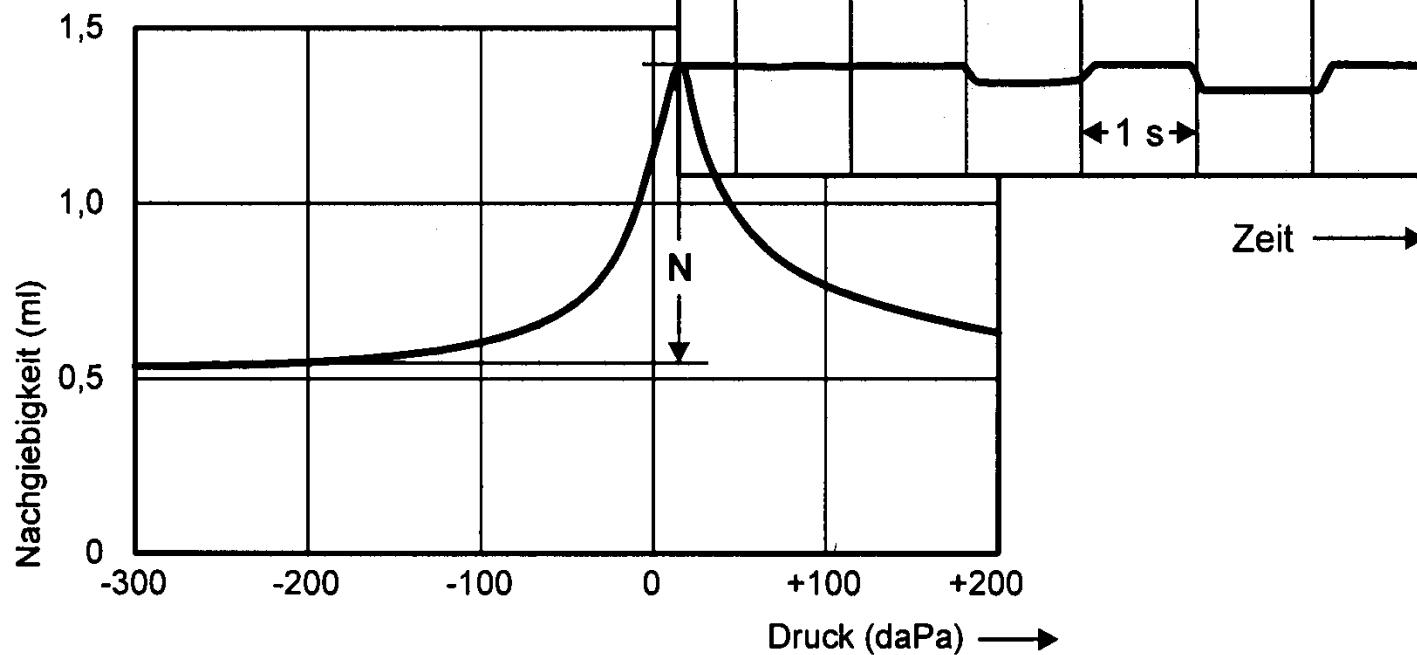
Tympanometrie



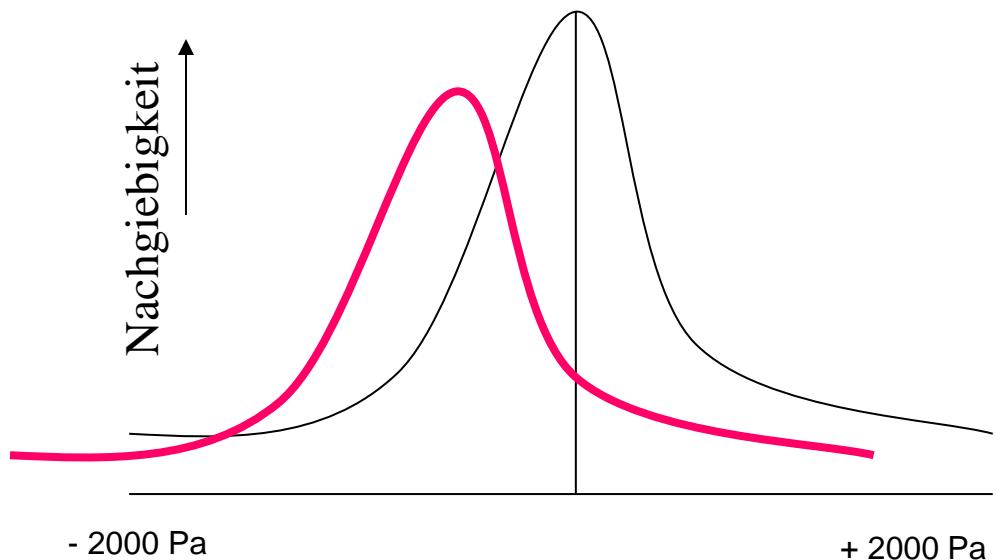
Tympanogramm und Stapediusreflex

b) Stapediusreflex

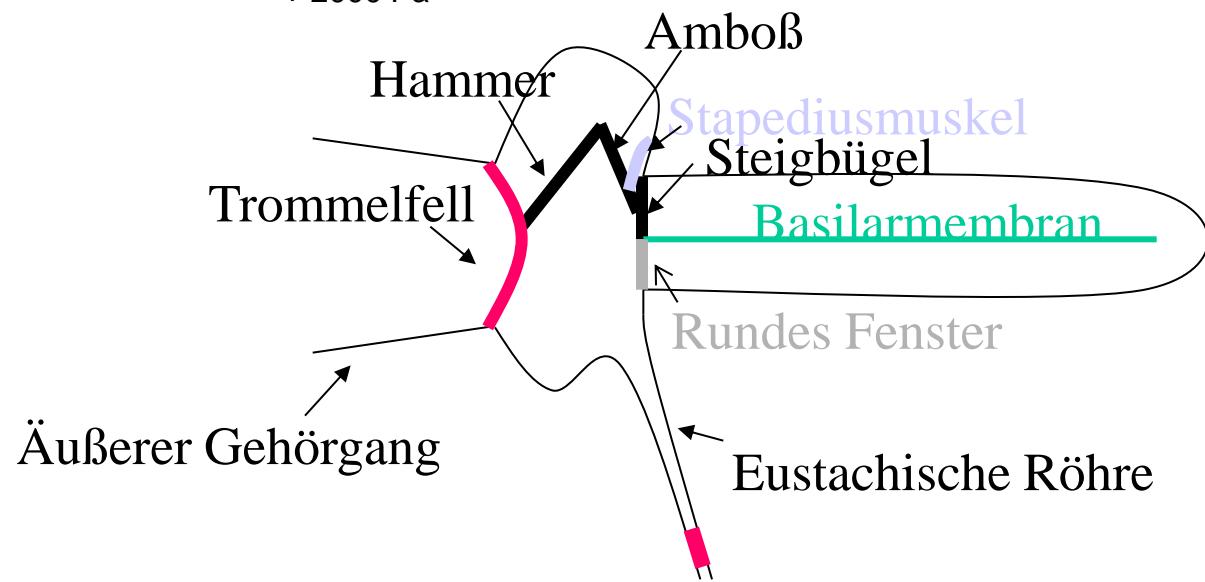
a) Tympanogramm



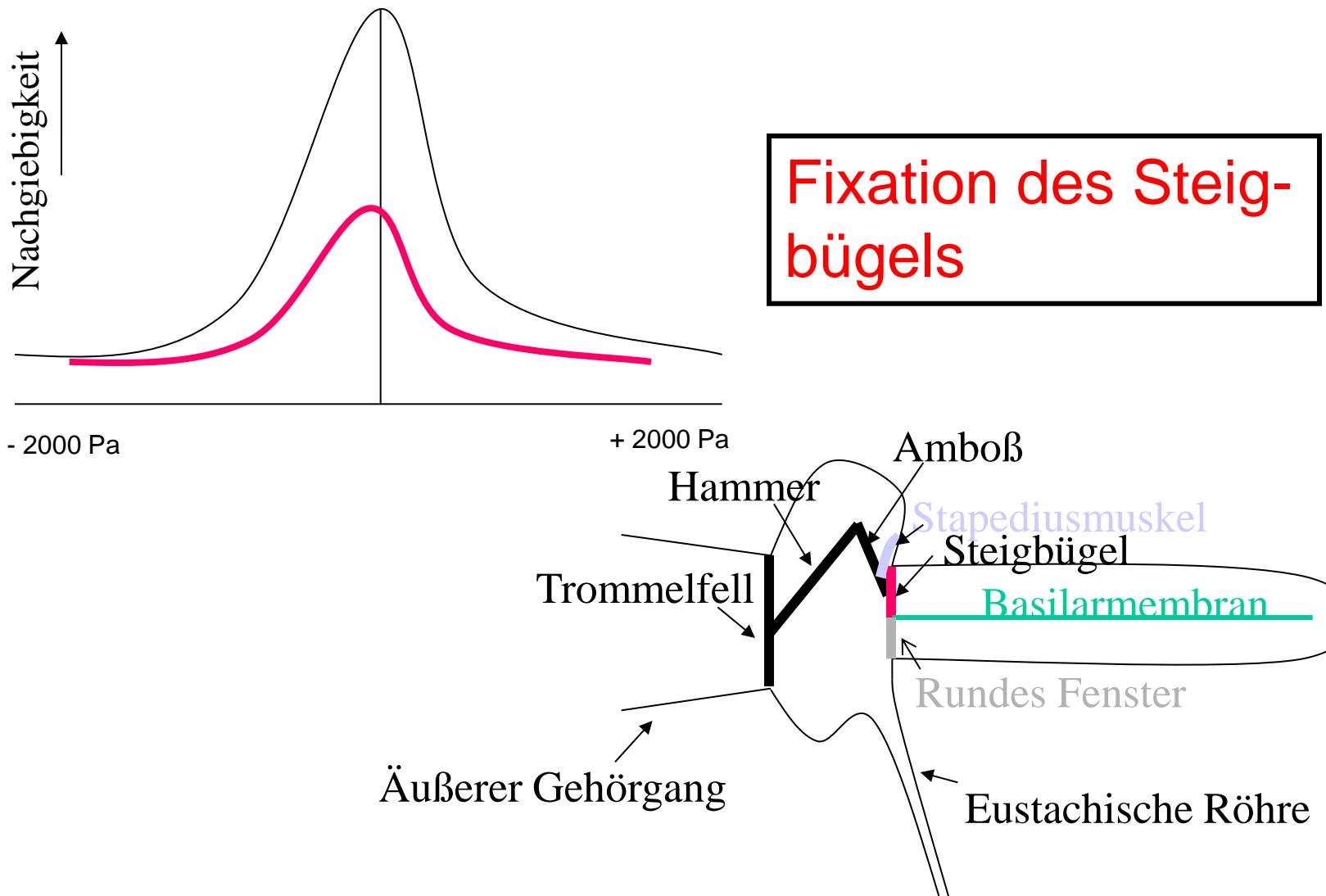
Tubenfunktionsstörung



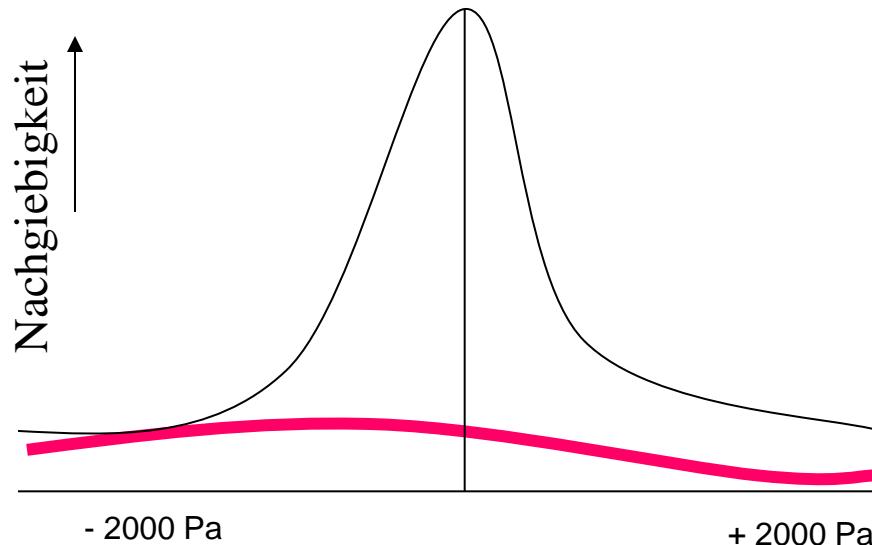
Unterdruck in der Paukenhöhle



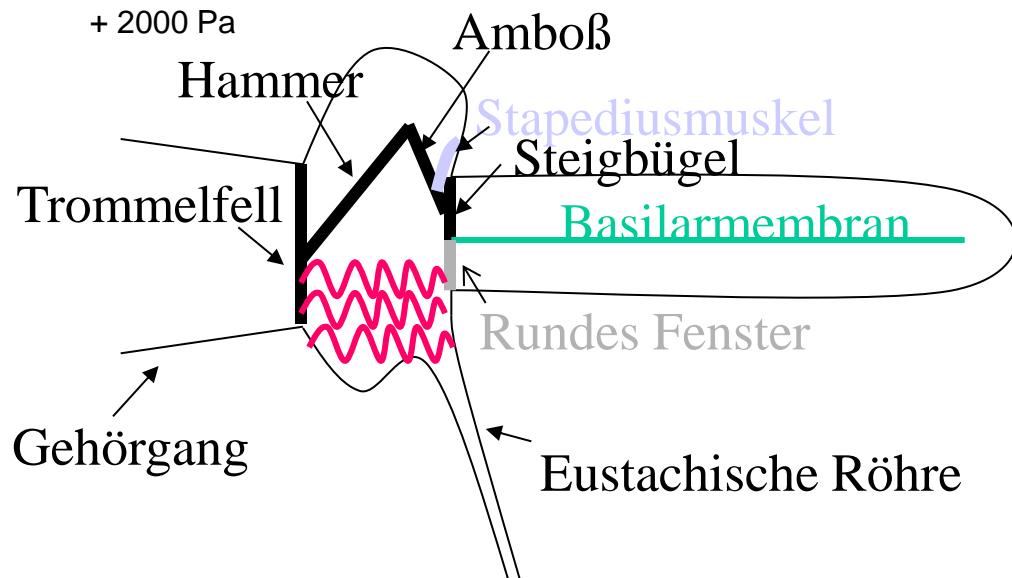
Otosklerose



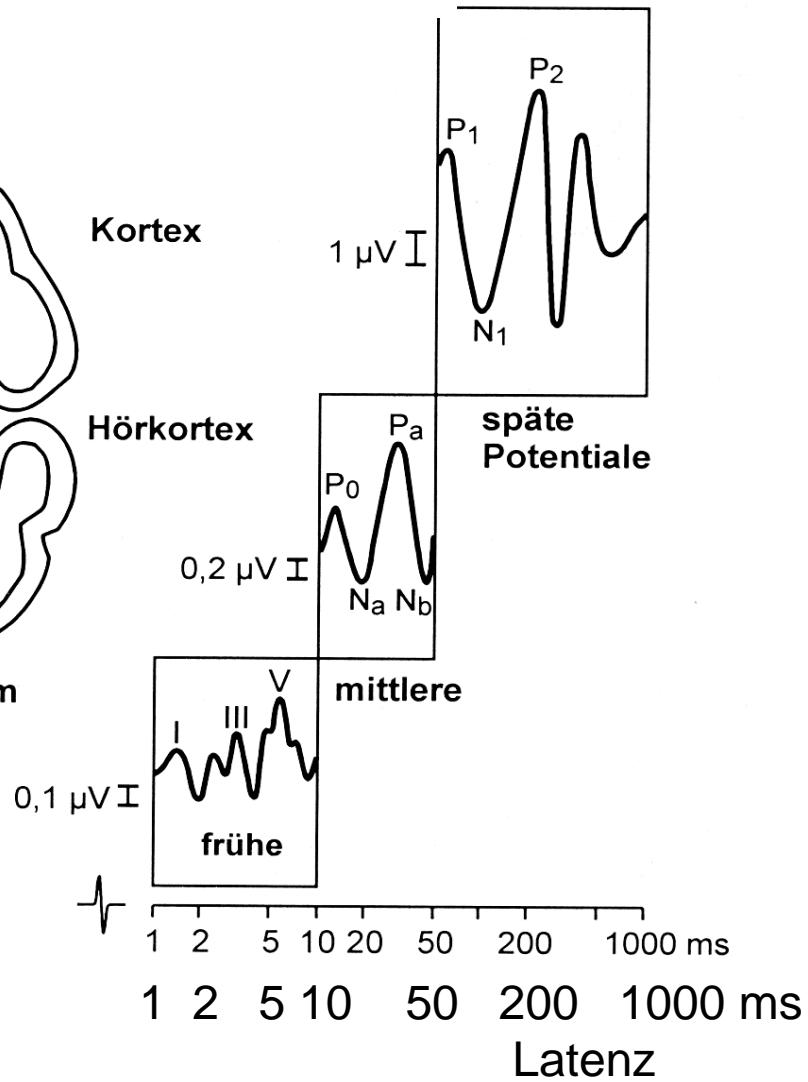
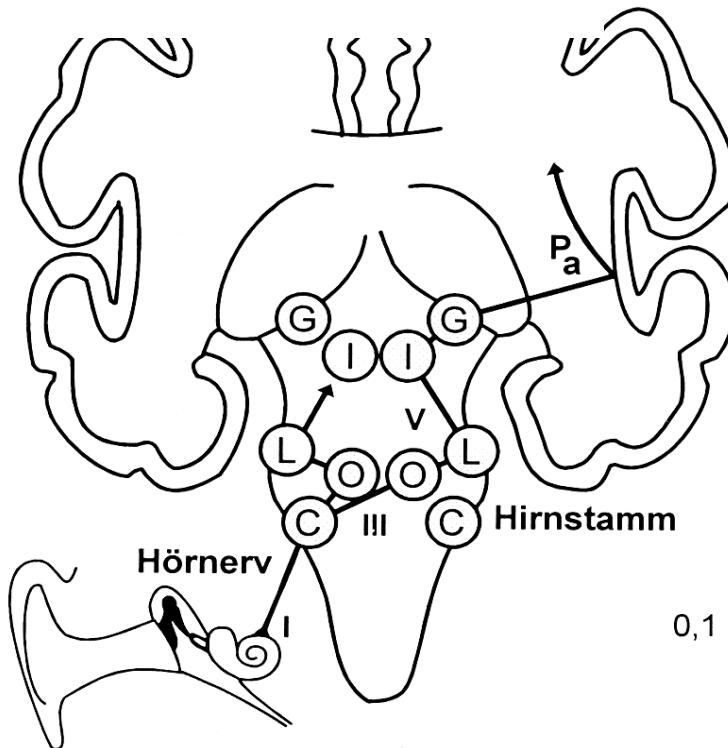
Mittelohr-Erguss



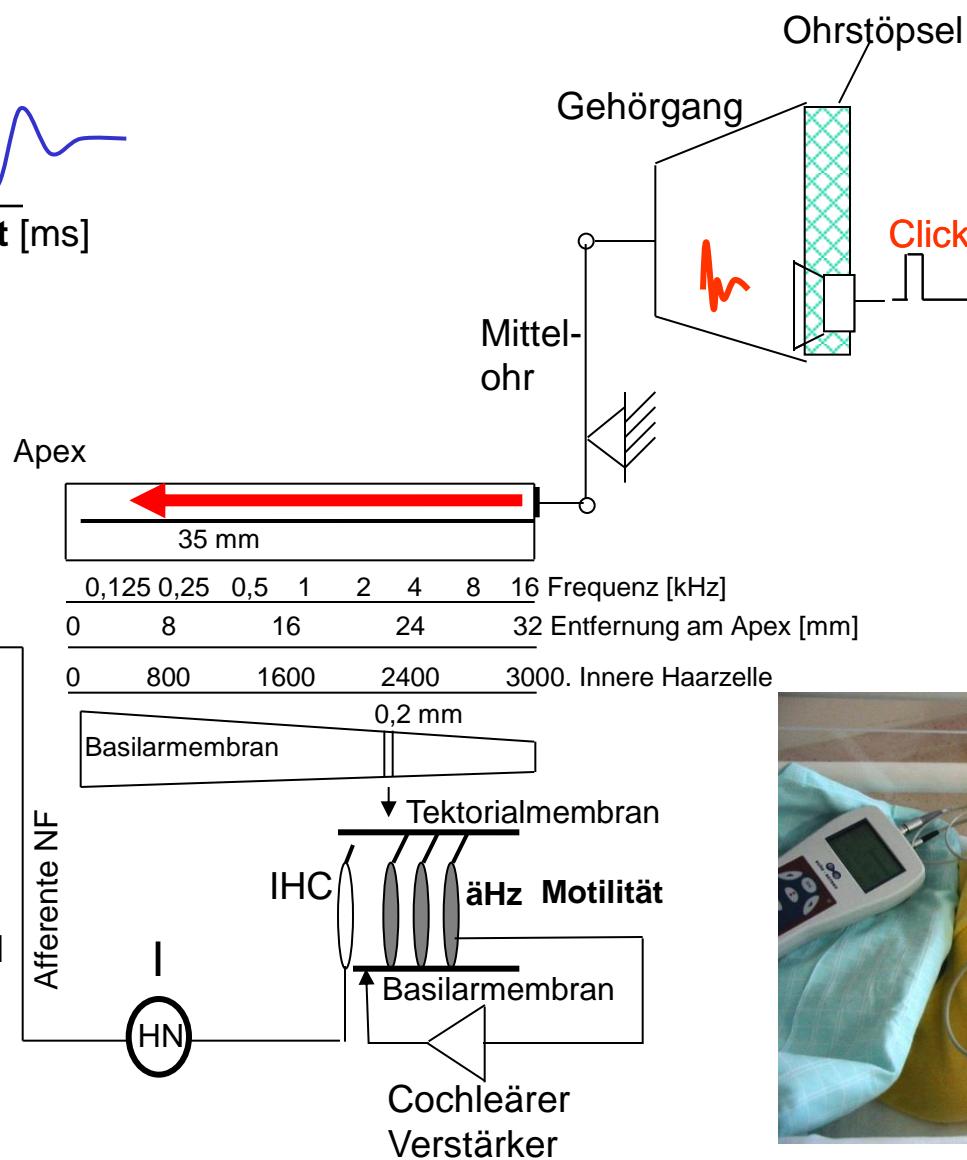
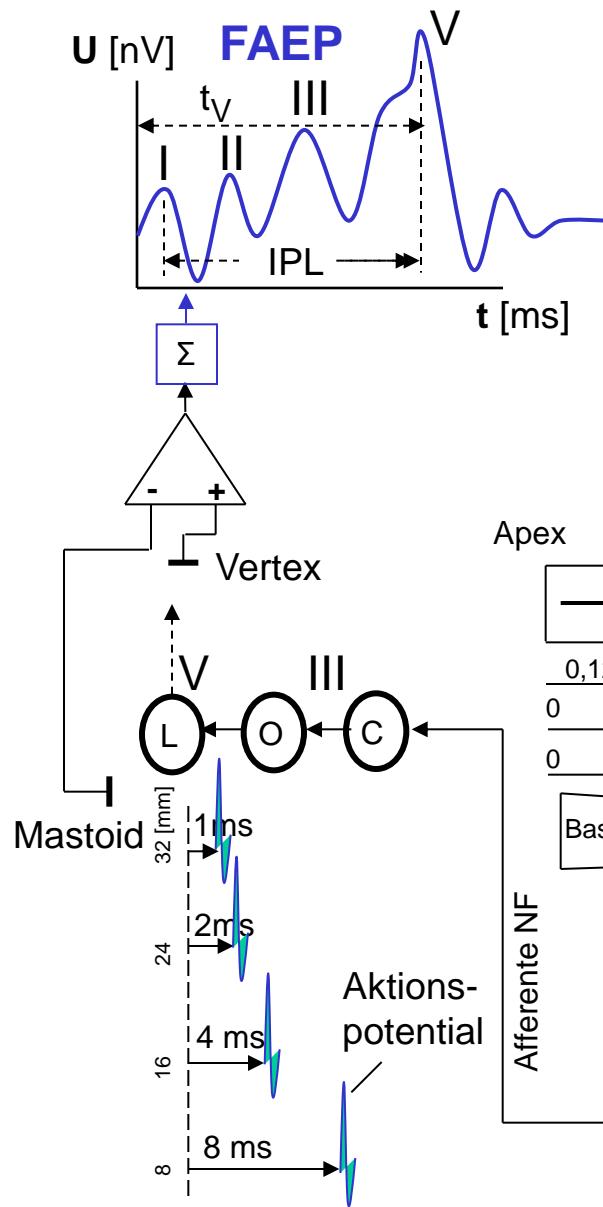
Sekretgefüllte
Paukenhöhle



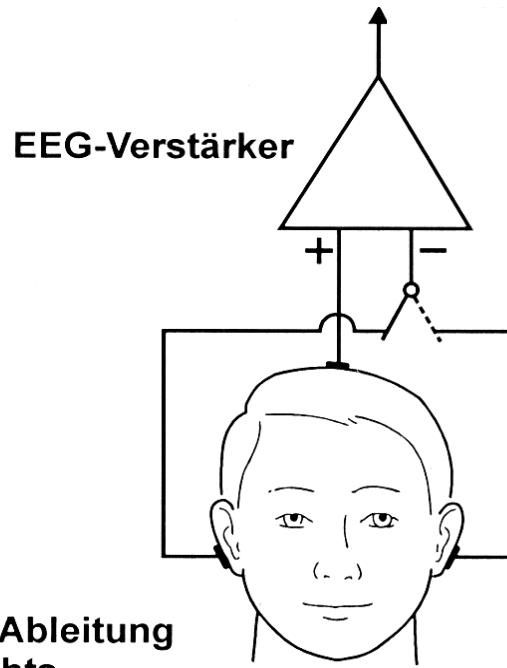
Akustisch evozierte Potentiale



Auslösung und Messung der Frühen AEP



Hirnstammaudiometrie (B-ERA)

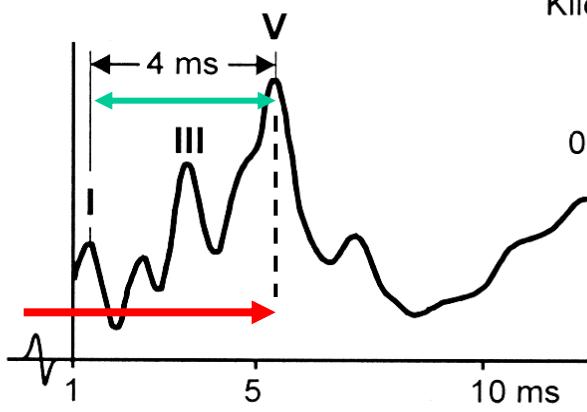


Absolute Latenz
Inter-Peak-Latenz

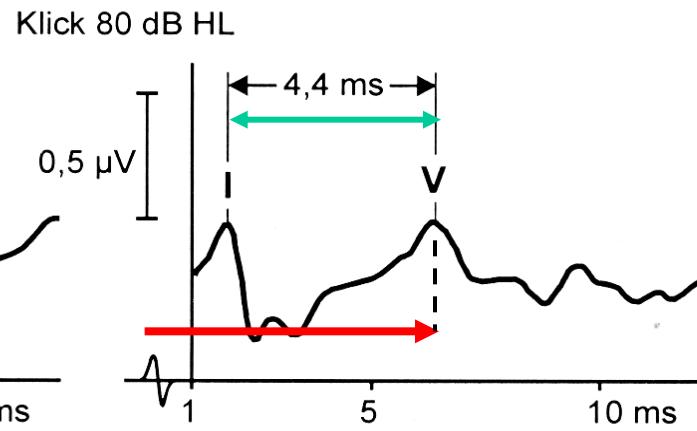
1. Neurologische
Fragestellung

Diagnostik des
Vestibularis-
Schwannoms

Reiz und Ableitung
rechts



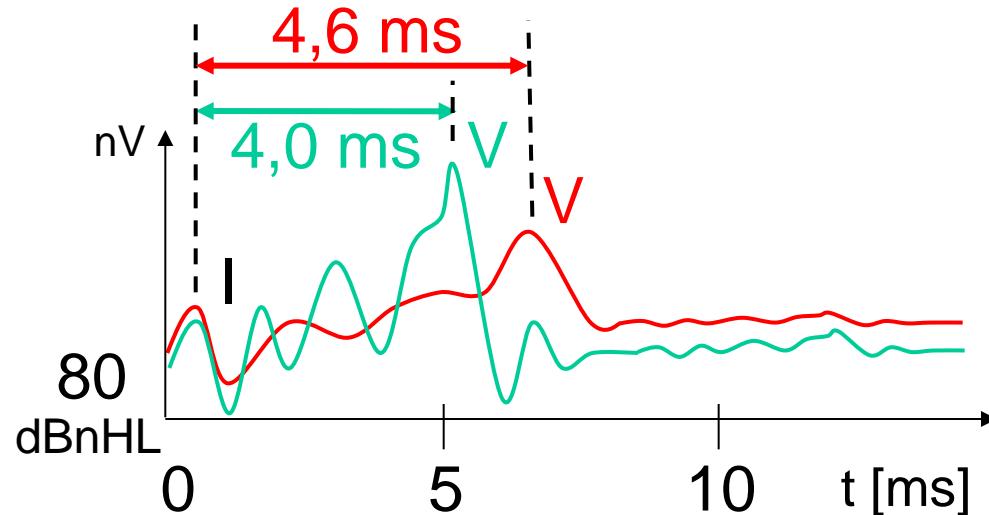
Reiz und Ableitung
links



normale Hörbahn

Akustikusneurinom

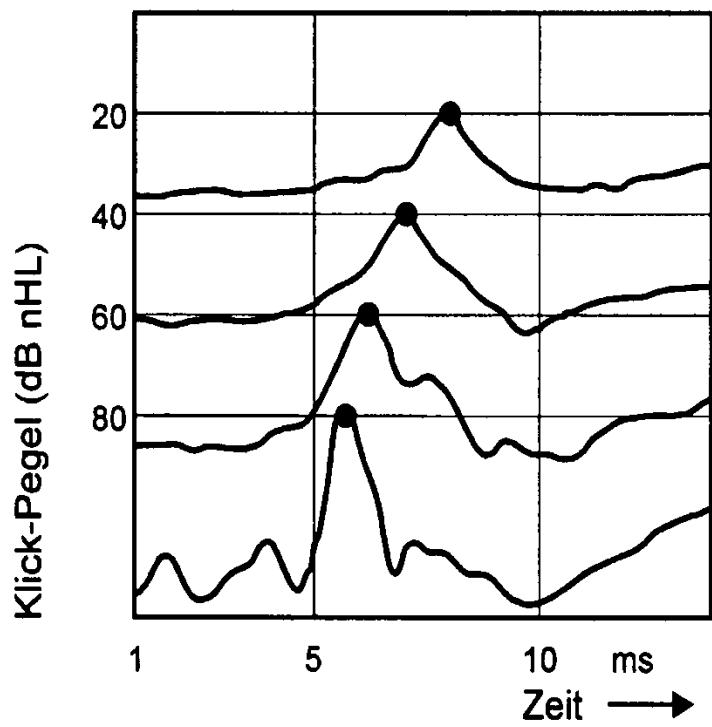
Retrocochleäre Funktionsstörungen



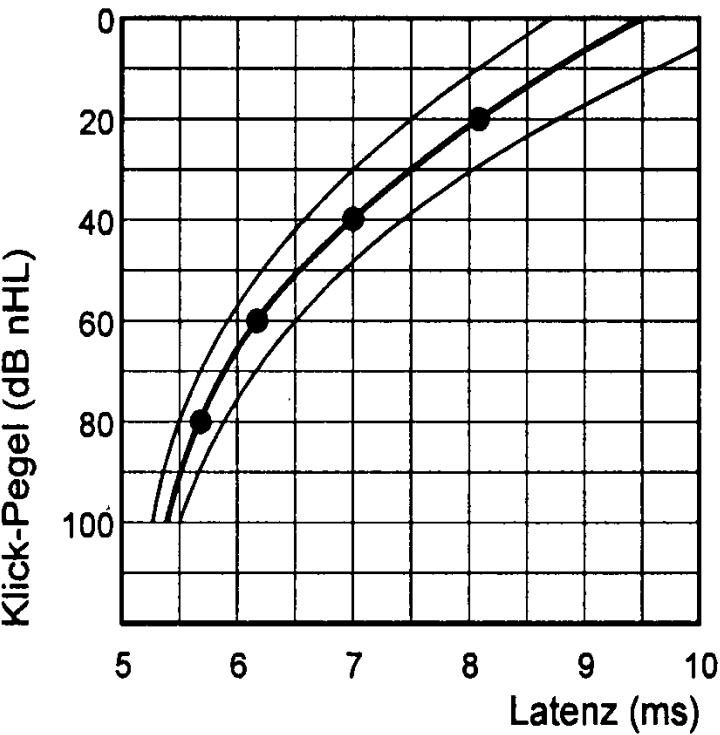
Sichere Diagnose wenn die Ableitung der Welle I und der Welle V gelingt

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)



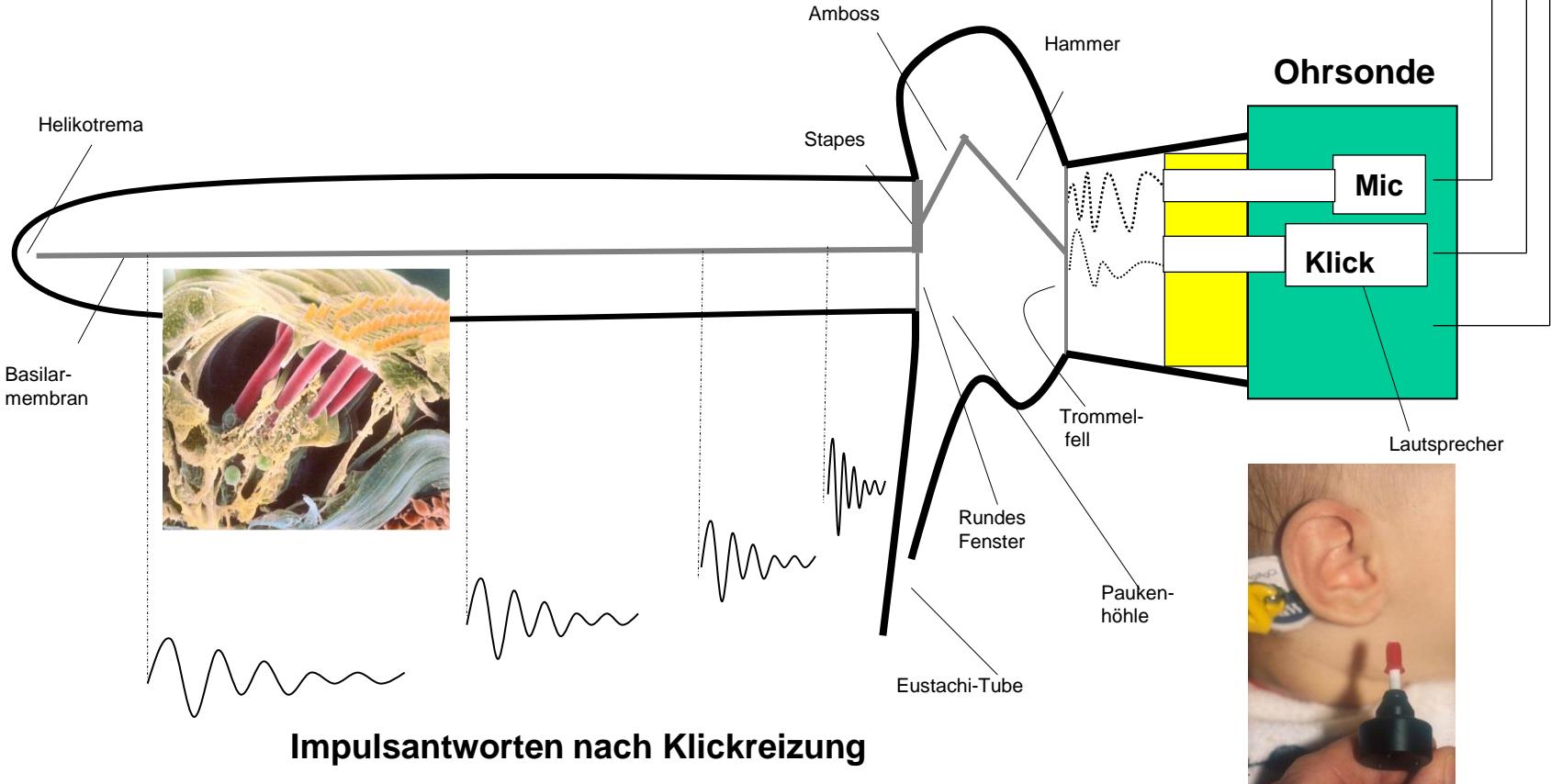
2. Audiologische Fragestellung BERA

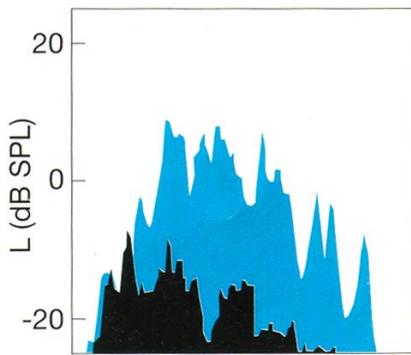
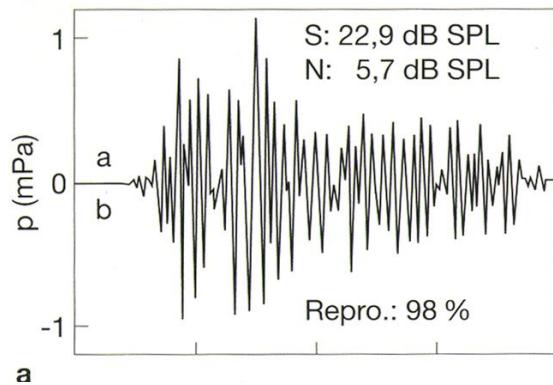
Bestimmung der Hörschwelle

Otoakustische Emissionen

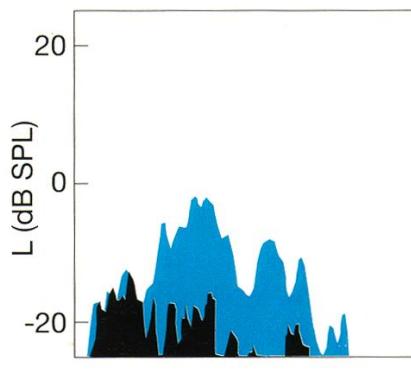
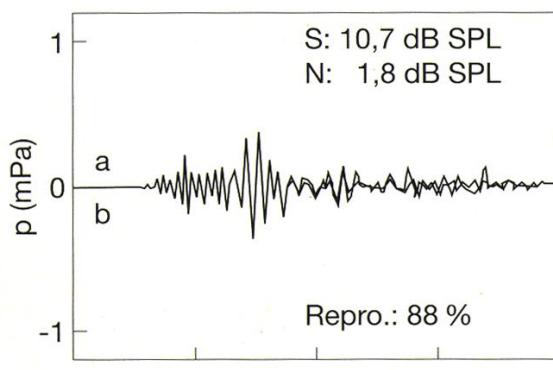
- **Follow-up, Konfirmationsdiagnostik nach dem Neugeborenen-Hörscreening**
- **Pädaudiologische Diagnostik**
- **Differentialdiagnostik**
→ Nachweis einer cochleären Schwerhörigkeit (Topologische Diagnostik, Lärmgutachten)
- **Test bei Simulation und Aggravation**
→ Unterschied zwischen Tonschwellenaudiogramm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

Transitorisch Evozierte Oto- Akustische Emissionen

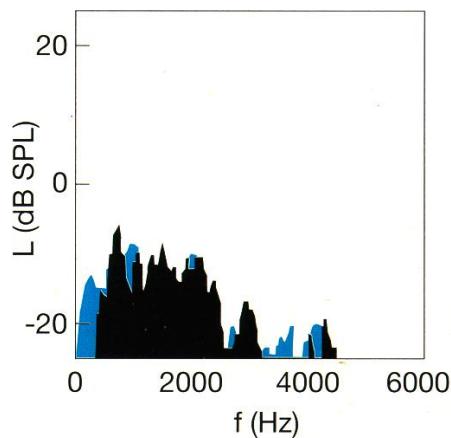
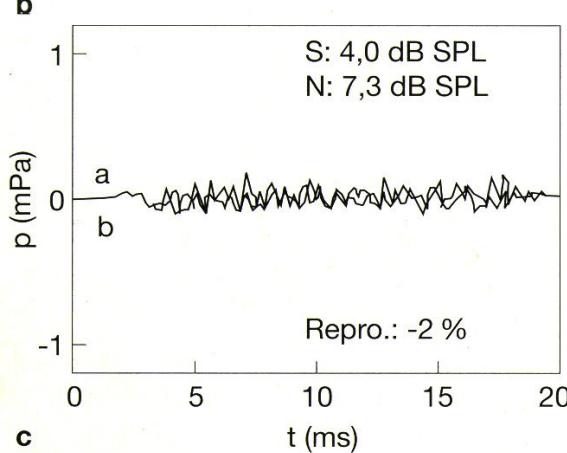




2 Monate altes Baby



2 ½ Stunden nach Geburt



Keine TEOAE

Neugeborenen-Hörscreening



AOAE = Automatische OAE

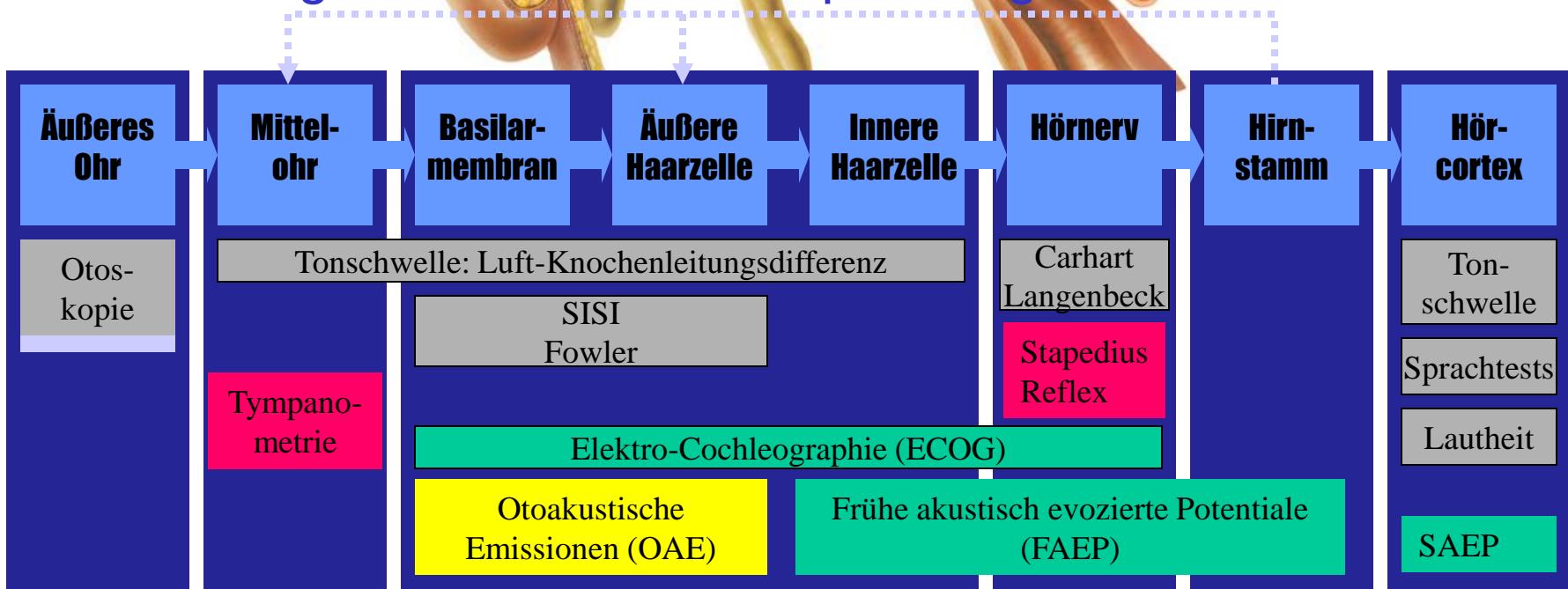
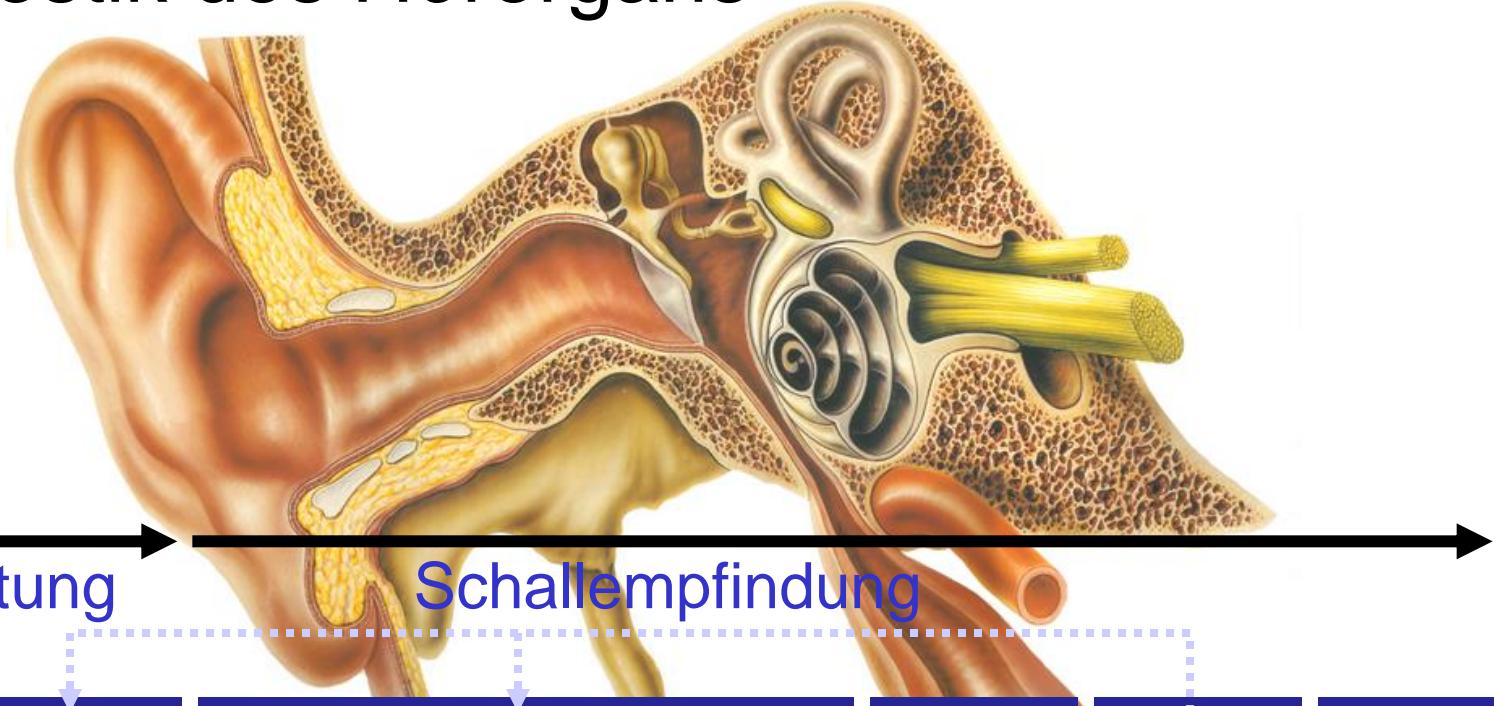
Pass oder Fail



AABR = Automatische ABR

Pass oder Fail

Diagnostik des Hörorgans



Praktische Audiometrie

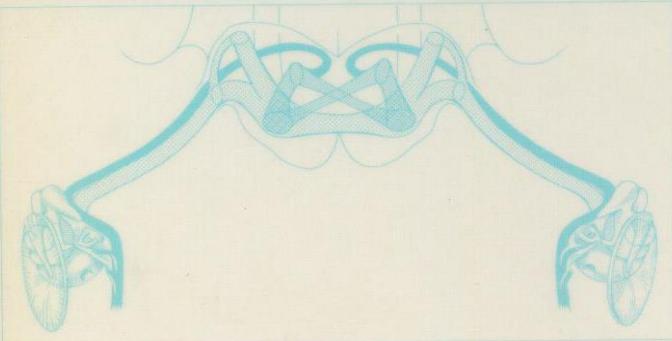
Lehrbuch und synoptischer Atlas

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

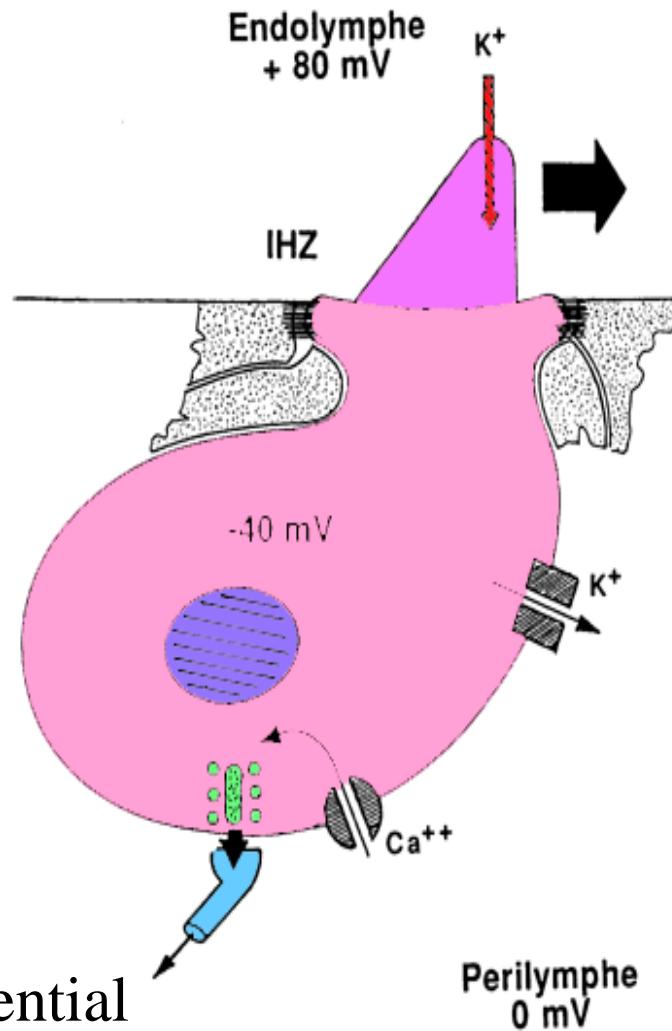
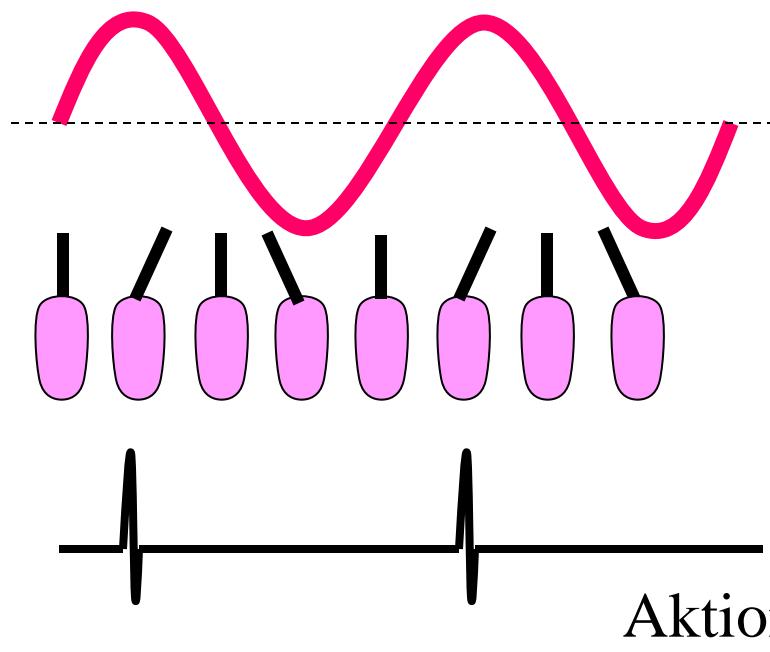
9. Auflage, 2009

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



Innere Haarzelle

Sensorische Transduktion

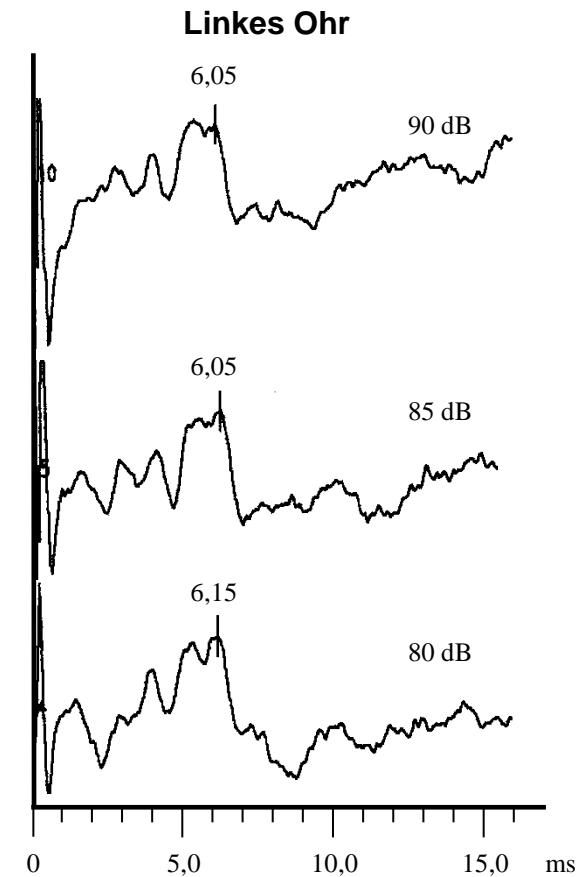
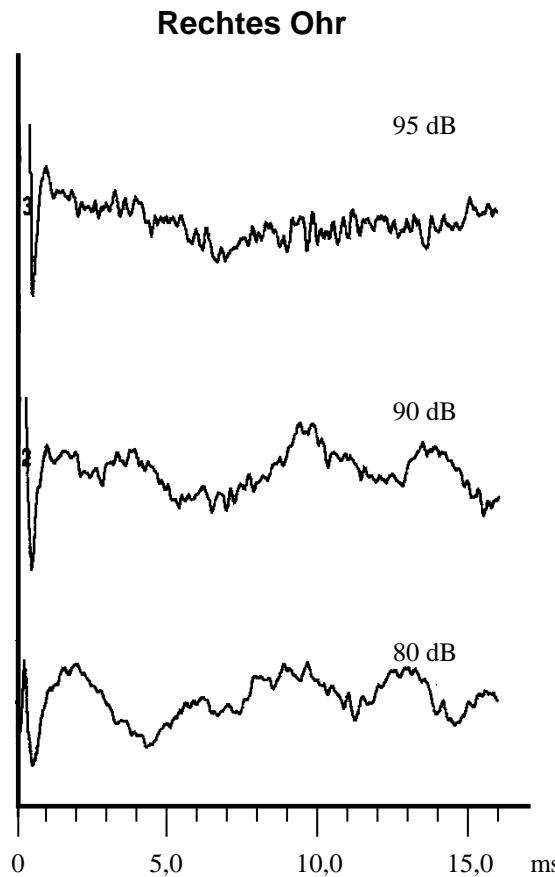


Akustikus Neurinom rechtes Ohr

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

Morbus Recklinghausen (Neurofibromatose Typ I)

D.Y. 6 Jahre

Sprachentwicklungsstörung

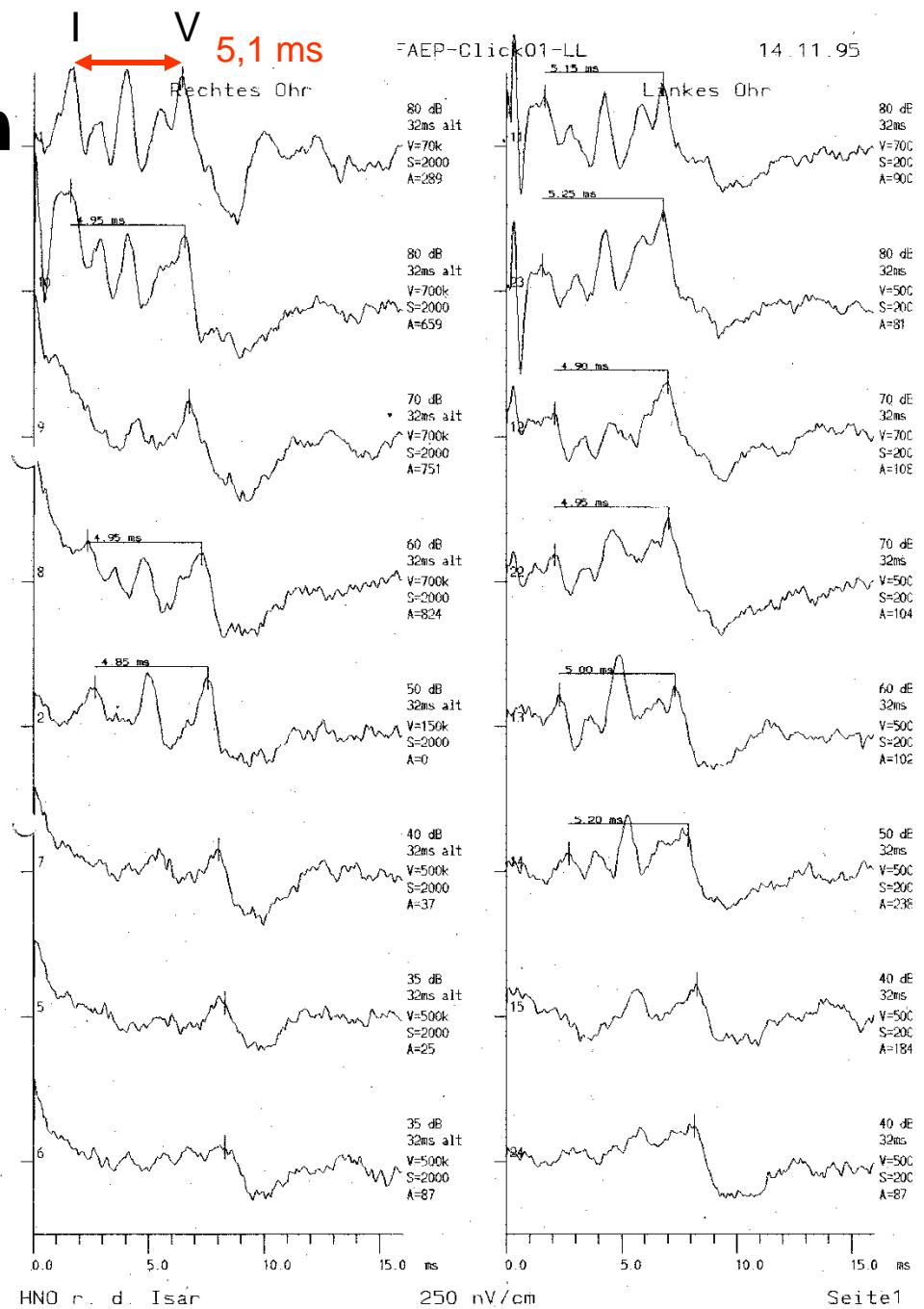
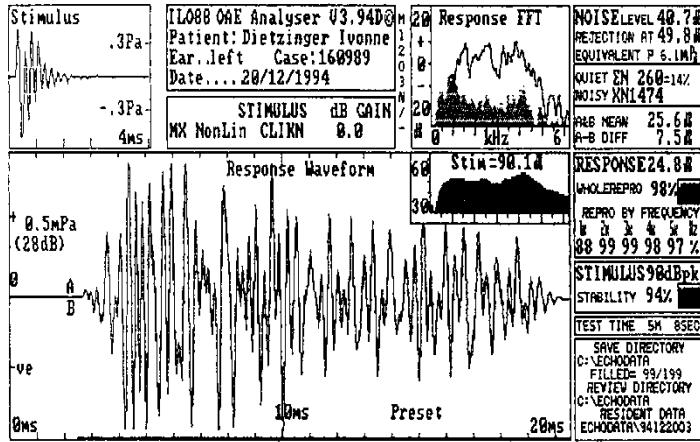
Audiogramm: Normakusis

BERA: Inter-Peak-Latenz verlängert

Tympanogramm: bds. o.B.

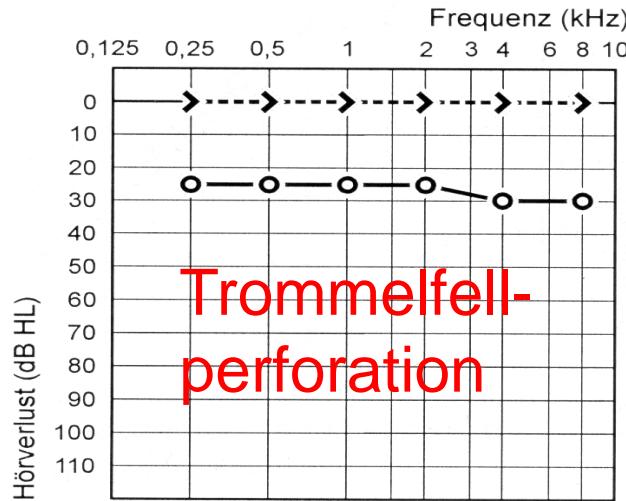
Stapediusreflex: bds. regelgerecht

TEOAE: bds. regelgerecht

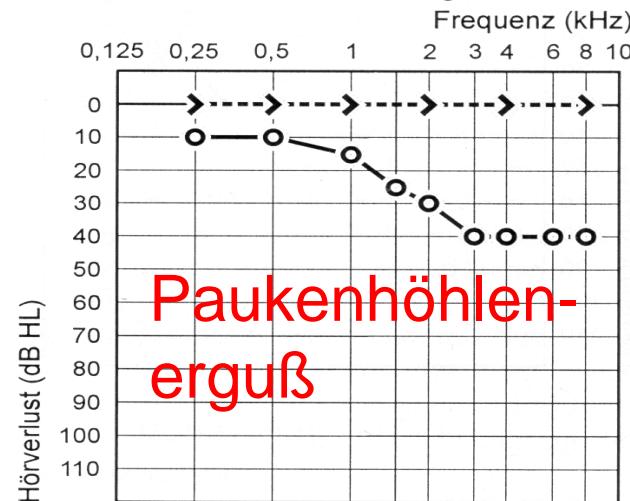


Schalleitungsschwerhörigkeit

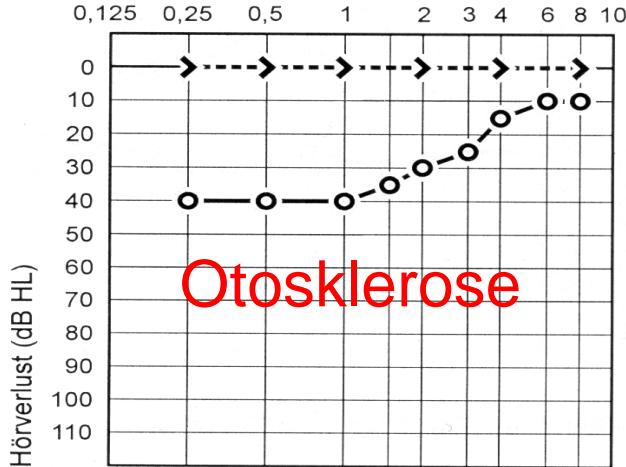
a) Trommelfelldefekt



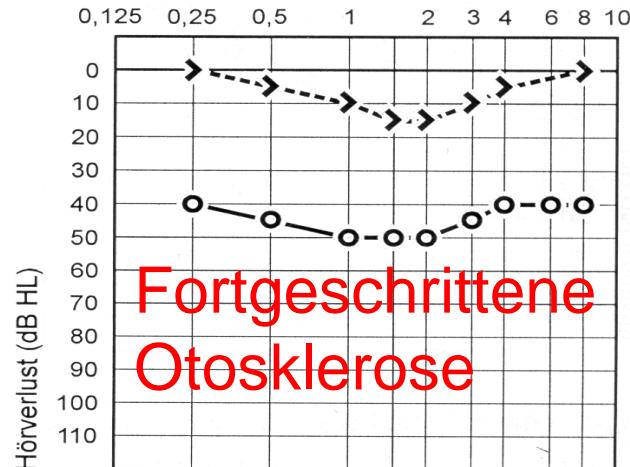
b) Mittelohrerguß



Frequenz (kHz)

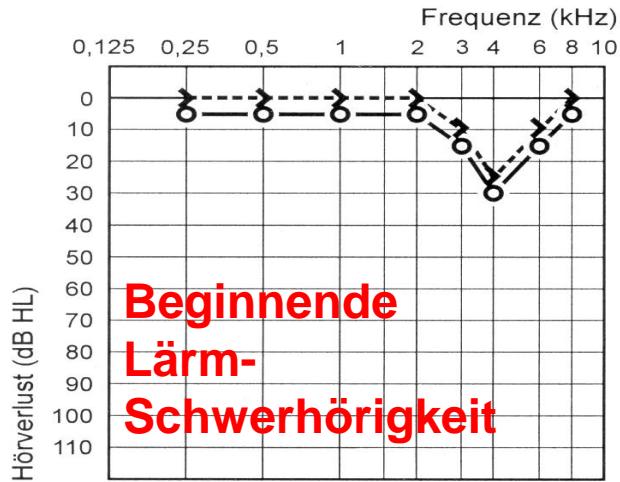


Frequenz (kHz)

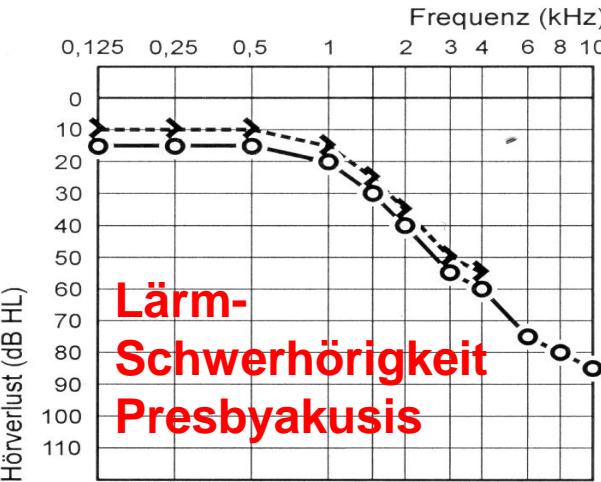


Schallempfindungsschwerhörigkeit

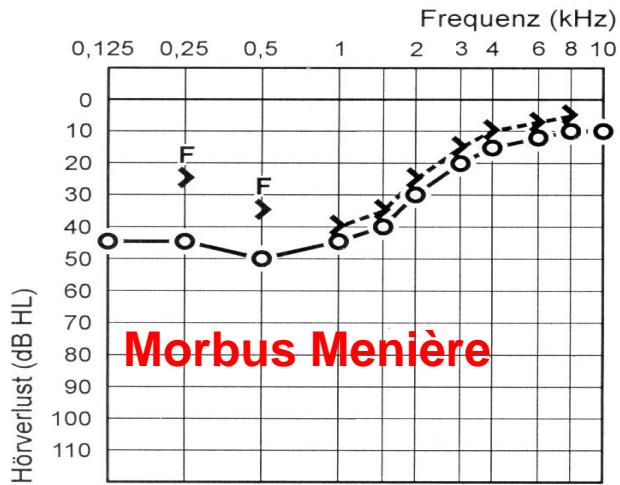
a) Hochtontonnenke



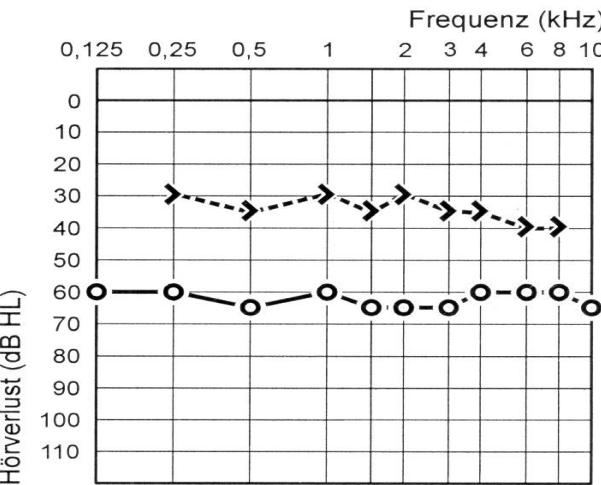
b) Hochttonabfall



c) Tieftonhorverlust



d) kombinierter Hörverlust



Stimmgabelprüfung

rechts		links
→	Weber	←
+	Rinne	+

Normales Gehör

rechts		links
	Weber	→
+	Rinne	-

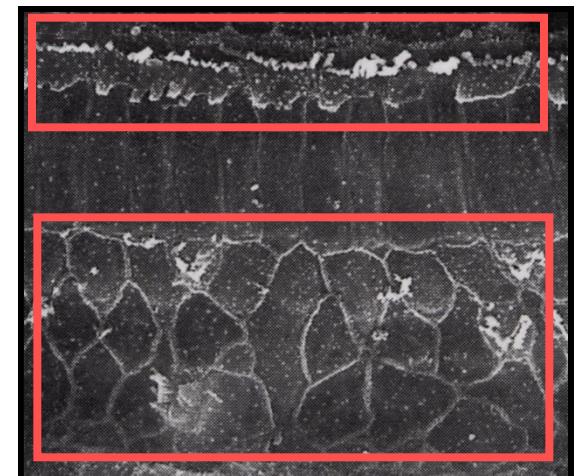
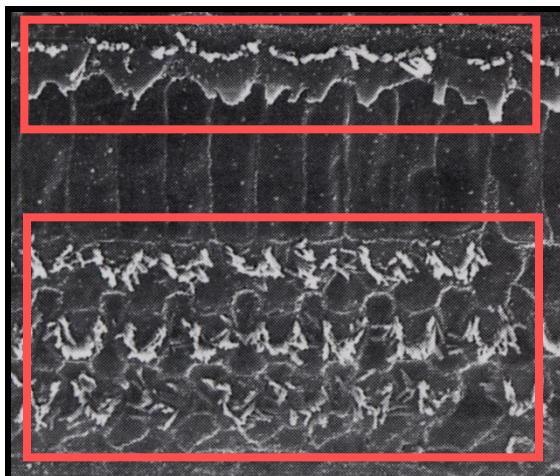
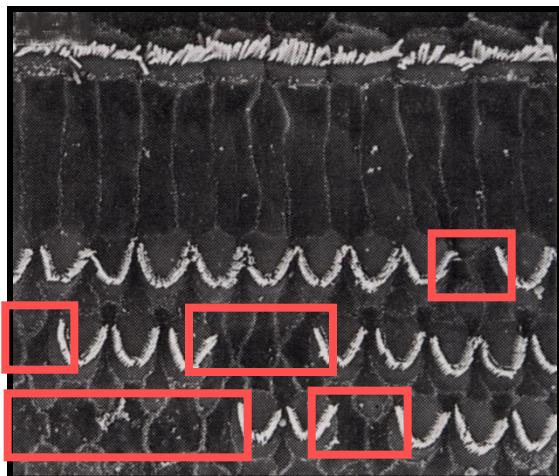
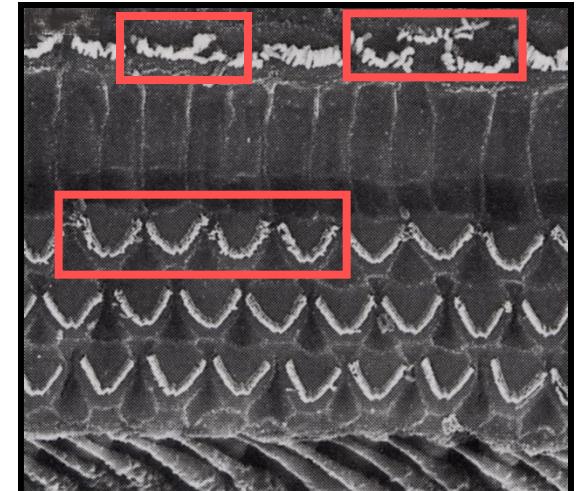
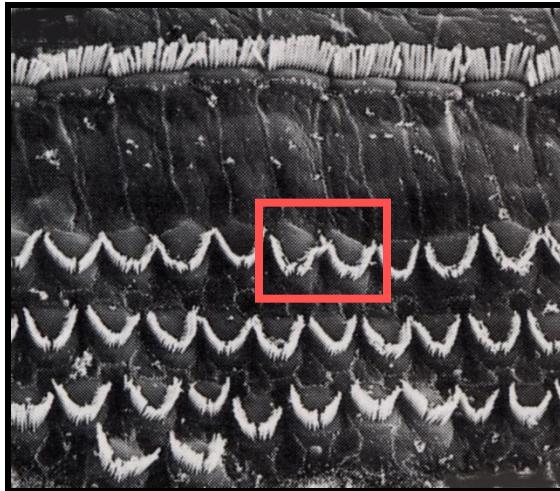
Mittelohrschwerhörigkeit links

rechts		links
←	Weber	
+	Rinne	+

Innenohrschwerhörigkeit links

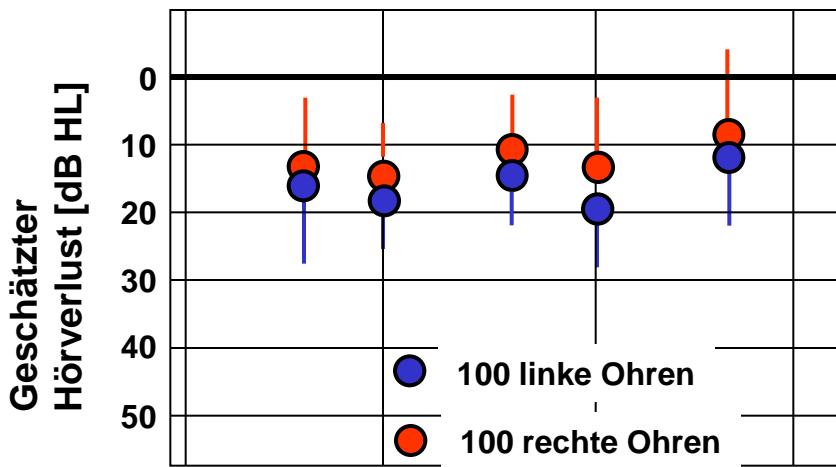
Ergebnisse des Stimmqabeltests.

Schall (Lärm) - Trauma

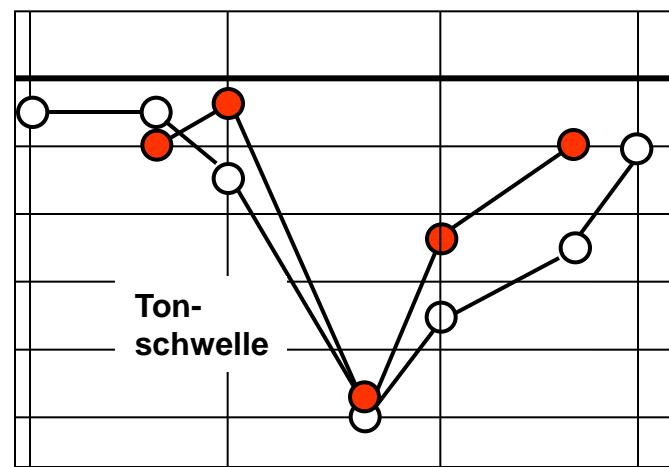


DPOAE-Kochleogramme

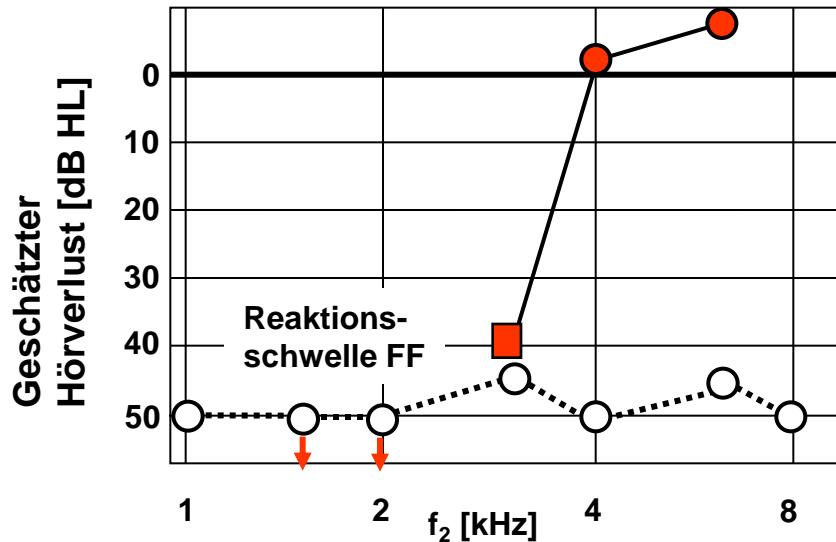
100 Neugeborene (2,5 Jahre)



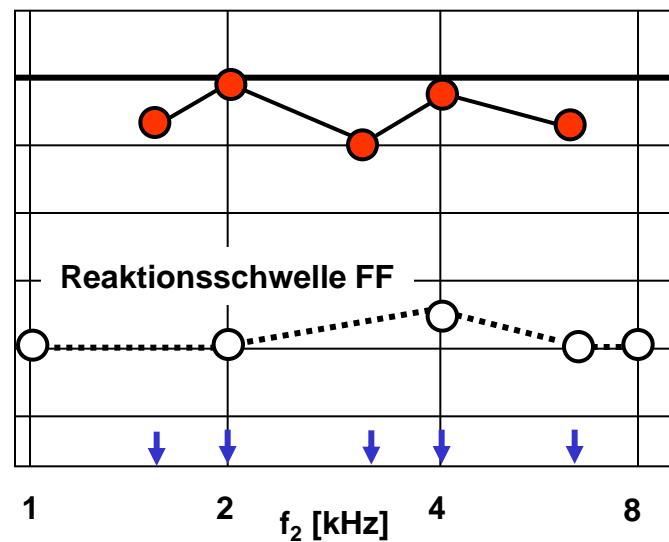
6 Jahre altes Kind



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)