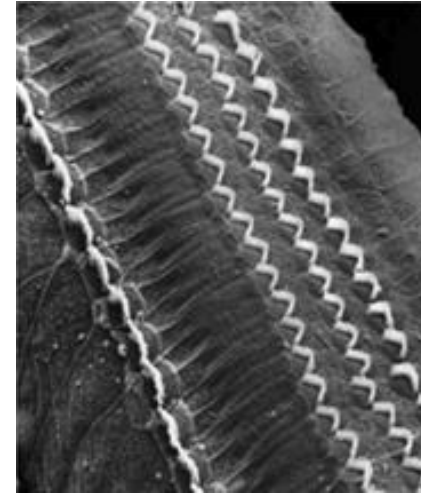


Modul M1 – Allgemeine Psychologie

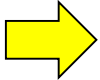
Vorlesung

Prof. Dr. Florian Kattner
Professur für Allgemeine Psychologie
Health and Medical University
Olympischer Weg 1
14471 Potsdam



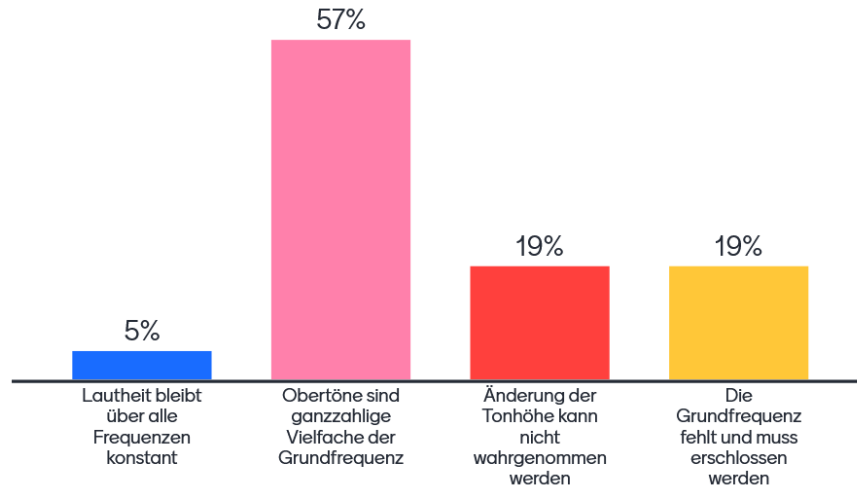
Plan der Vorlesung

Nr.	Datum	Thema
1	12.10.2021 (Di)	Einführung: Was ist Allgemeine Psychologie?
2	19.10.2021 (Di)	Psychophysik I: Schwellenmessung
3	26.10.2021 (Di)	Psychophysik II: Skalierung, adaptive Verfahren und Signalentdeckungstheorie
4	02.11.2021 (Di)	Visuelle Wahrnehmung I: Grundlagen des Sehens
5	09.11.2021 (Di)	Visuelle Wahrnehmung II: Neuronale Verarbeitung (Retina)
6	16.11.2021 (Di)	Visuelle Wahrnehmung III: Kortikale Organisation
7	23.11.2021 (Di)	Visuelle Wahrnehmung IV: Farbwahrnehmung
8	07.12.2021 (Di)	Visuelle Wahrnehmung V: Farb-, Tiefen- und Größenwahrnehmung
9	07.12.2021 (Di)	Auditive Wahrnehmung I: Grundlagen des Hörens
10	14.12.2021 (Di)	Auditive Wahrnehmung II: Richtungshören und auditive Szenenanalyse
11	11.01.2022 (Di)	Aufmerksamkeit
12	18.01.2022 (Di)	Gedächtnis I: Gedächtnissysteme und Arbeitsgedächtnis
13	25.01.2022 (Di)	Gedächtnis II: Langzeitgedächtnis
14	01.02.2022 (Di)	Gedächtnis III und Sprache
15	08.02.2022 (Di)	Wiederholung und Fragestunde



Mentimeter

- Was kennzeichnet einen komplexen Ton?
- <https://www.menti.com/u7q26tizrb>



- <https://www.mentimeter.com/s/31609f0b8f6e1d9084b4f08d42f34297/3a924cf44ad4>

Tonhöhe und Frequenz

- **Phänomen des fehlenden Grundtons:**
Bei komplexen Tönen bleibt die Tonhöhe erhalten, auch wenn die Grundfrequenz selbst im Ton nicht enthalten ist.
- Tonhöhe muss aus **Periodizität** (rote gestrichelte Linie) erschlossen werden!



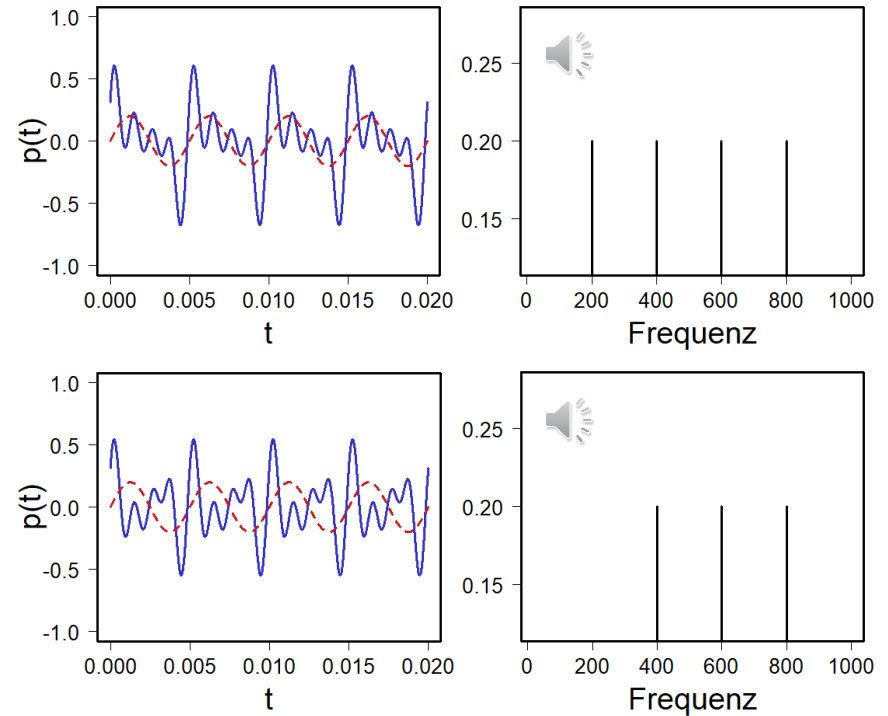
Nur Grundton



Harmonische 1-4



Harmonische 4-10

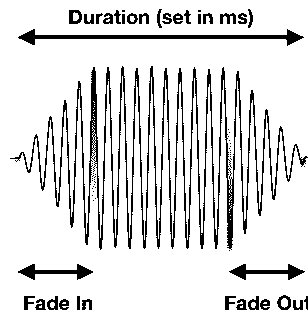


Wissen sie noch, wie wir
Farbe definiert haben?

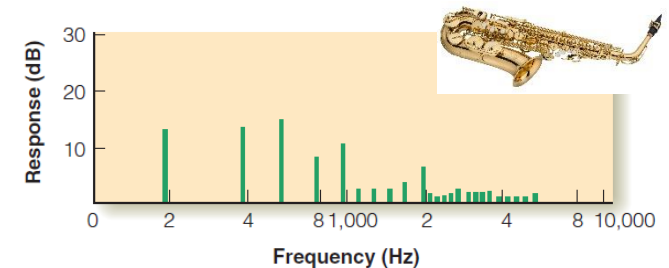
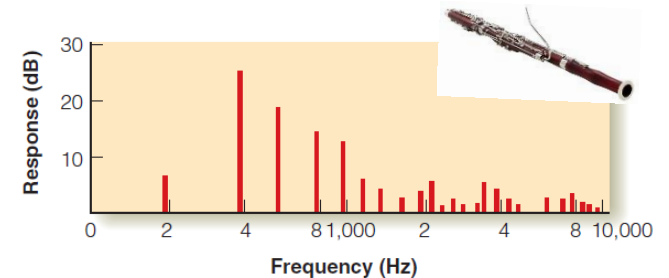
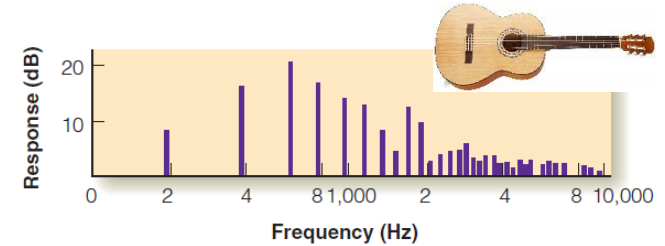
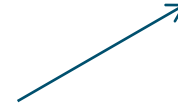
Klangfarbe (timbre)

= Eigenschaft eines Höreindrucks, mit der sich Töne gleicher Lautheit, Tonhöhe, Dauer und Richtung unterscheiden lassen.

- hängt ab von:
 - **Obertonstruktur:** Frequenzspektren verschiedener Musikinstrumente
 - **Ein- und Ausschwingzeit (fade-in/fade-out):** Flöte und Klarinette unterscheiden sich v.a. beim „Anblasen“ und Verklängen des Tons

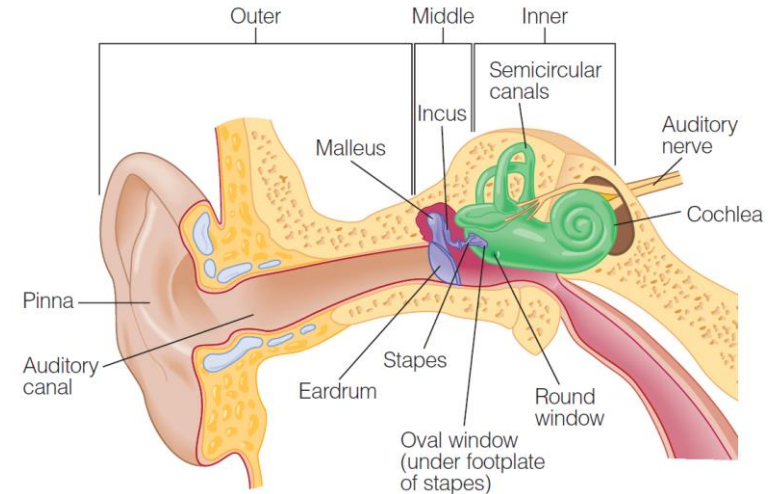


Klavierton vorwärts/rückwärts
(Grundton und Spektrum
werden nicht verändert!)



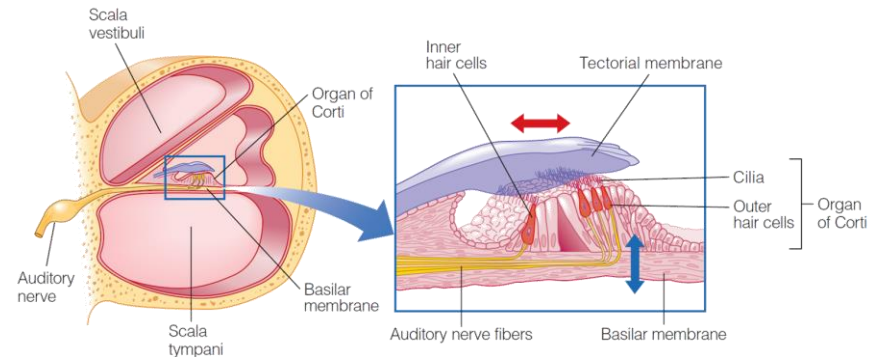
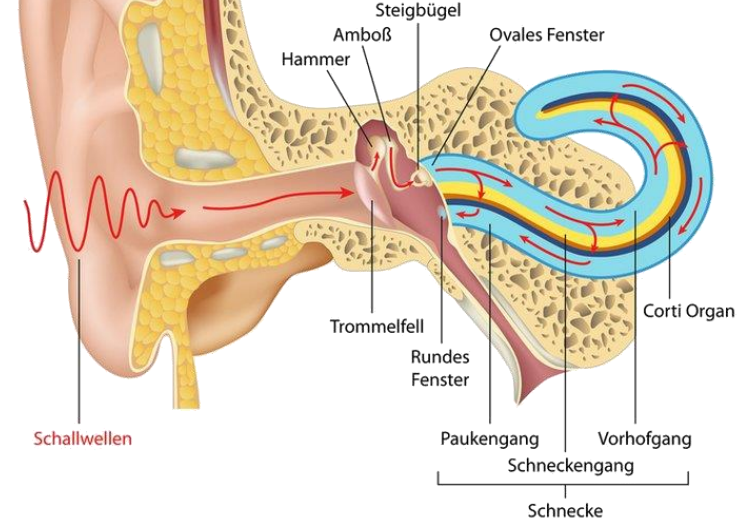
Physiologie des Hörens

- **Außenohr (Ohrmuschel):** Schutzfunktion und Verstärkung bestimmter Frequenzen
- **Mittelohr:** Mechanische Verstärkung des Drucks durch Gehörknöchelchen zwischen Trommelfell und ovalem Fenster
 - Konzentration der Schwingungen des großen Trommelfells auf kleines ovales Fenster (Faktor 20)
 - Hebelwirkung durch Gehörknöchelchen
- **Innenohr:** Druckausbreitung in Flüssigkeit der Hörschnecke (Cochlea)
 - Auslenkung von Haarzellen
 - Aktionspotential im Hörnerv

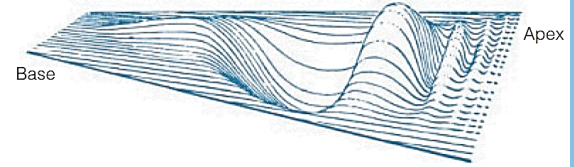


Innenohr

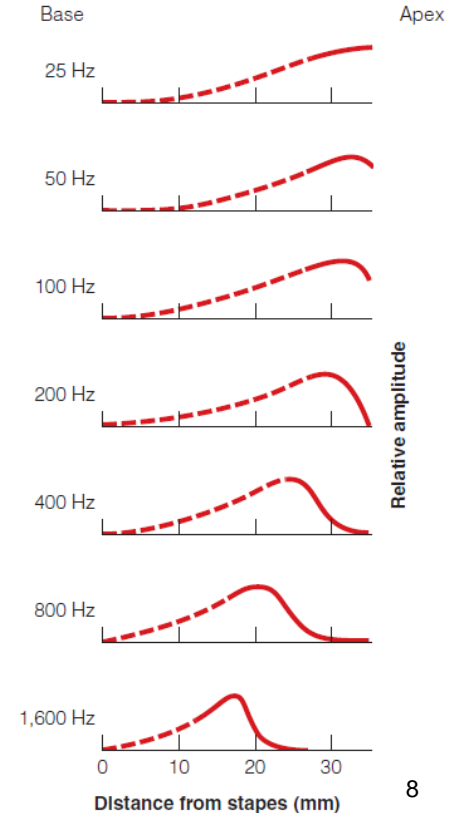
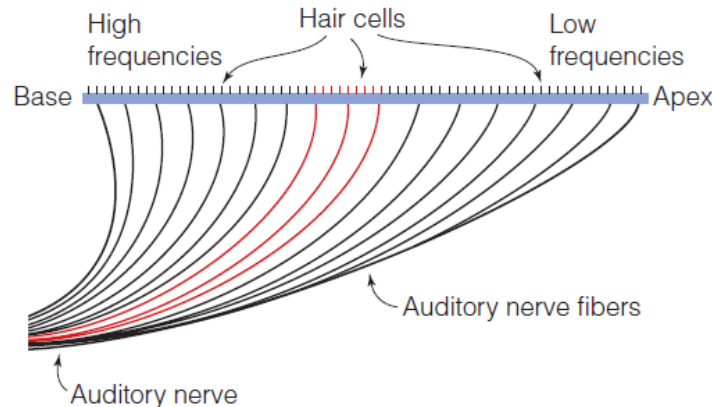
- **Cochlea** (Schnecke): Gefüllt mit Flüssigkeit (höhere Dichte als Luft im Außen- und Mittelohr), 2 mm Durchmesser, 35 mm lang
- Druckausbreitung vom ovalen zum runden Fenster.
- Cochleare Trennwand zwischen Scala vestibuli und Scala tympani enthält das **Corti'sche Organ**.
- Bewegung der Basilar- und Tektorialmembran führt zur Auslenkung der dazwischen liegenden **Haarzellen**.
 - ca. 3500 innere Haarzellen
 - ca. 12000 äußere Haarzellen



Ortstheorie der Tonhöhenwahrnehmung

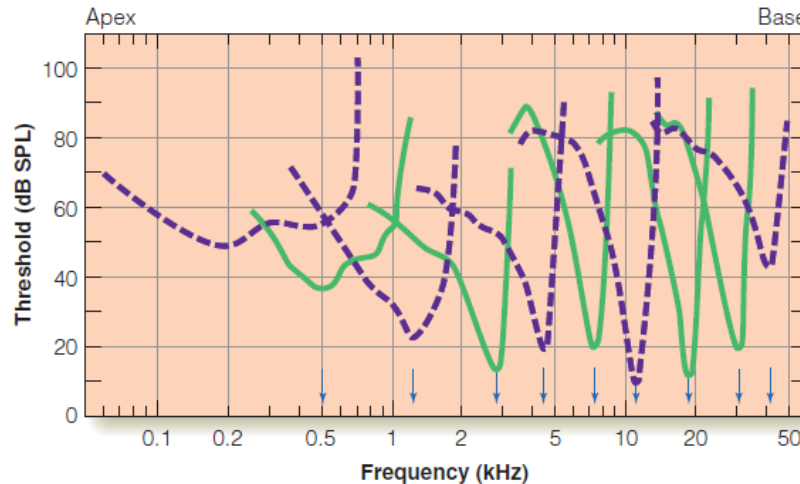
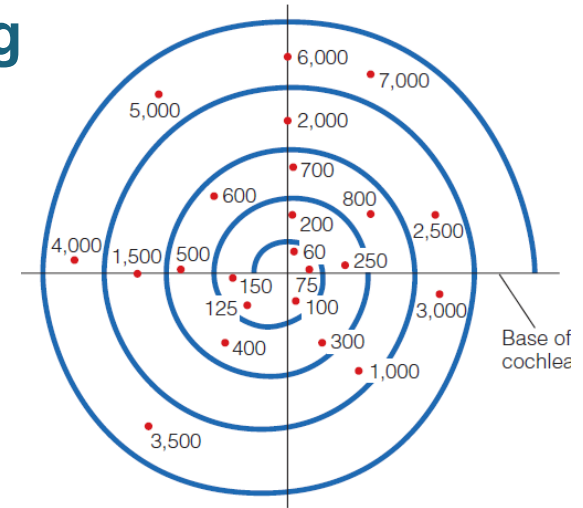


- Békésy (1960): Schwingung der Basilarmembran kann als **Wanderwelle** (traveling envelope) beschrieben werden.
 - Ort der maximalen Auslenkung der Basilarmembran abhängig von Frequenz: hohe Frequenzen landen näher an der Basis der Cochlea (ovales Fenster).
- Je größer die Auslenkung, desto stärker auch die neuronale Antwort im Hörnerven → **Tonhöhe** kann durch Ort entlang des Corti'schen Organs kodiert werden.



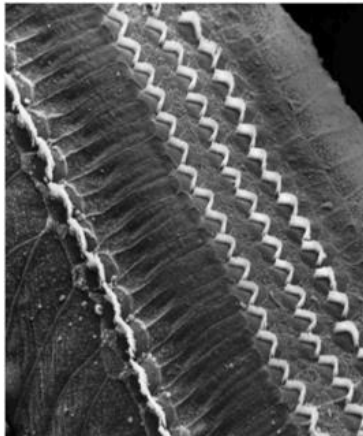
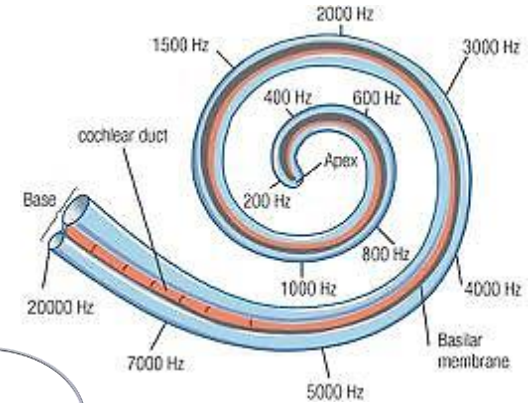
Ortstheorie der Tonhöhenwahrnehmung

- **Tonotope Karten** in der Cochlea von Meerschweinchen: Neuronen antworten auf bestimmte Frequenzen (Culler, 1943)
- **Frequenz-Tuningkurven** von Neuronen des Hörnerven von Katzen (Palmer, 1987) → niedrigste Schwellen bei bestimmten Frequenzen, abhängig vom Ort entlang der Cochlea



Ortstheorie der Tonhöhenwahrnehmung

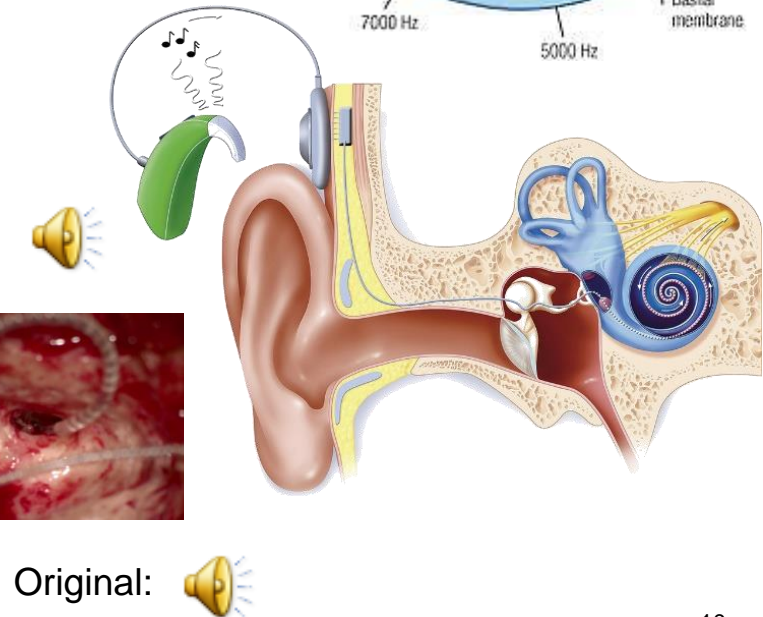
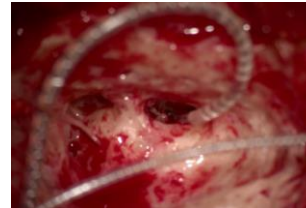
- Praktische Anwendung: Cochlea-Implantate**
 - bei zerstörten Haarzellen (vollständiger Hörverlust): direkte elektrische Reizung des Hörnerven an unterschiedlichen Orten durch bis zu 22 Elektroden
- Künstliche Transduktion




Äußere und innere
Haarzellen intakt



Zerstörte Haarzellen



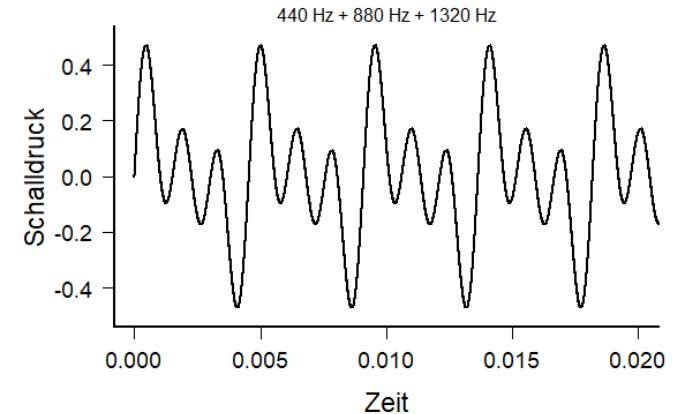
Original: 

Grenzen der Ortstheorie

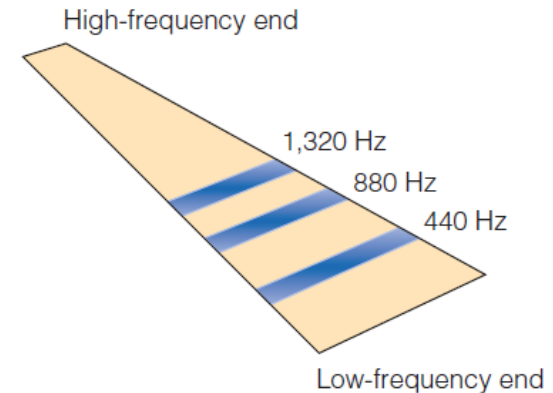
- **Feine Frequenzunterscheidung** kaum erklärbar (nur ca. 3500 Nervenfasern der inneren Haarzellen)
- Tonhöhe komplexer Töne nicht unmittelbar erklärbar:
 → Bei fehlendem Grundton fehlt Maximum am Ort der Grundfrequenz.
 → **Periodizität** muss kodiert werden!

Alternative: **Zeittheorie der Tonhöhe**

- zeitliches Muster des Feuerns von Neuronen im Hörnerv ist entscheidend
- funktioniert für Frequenzen bis ca. 5000 Hz (oberhalb werden auch keine Tonhöhen oder Melodien mehr wahrgenommen!)

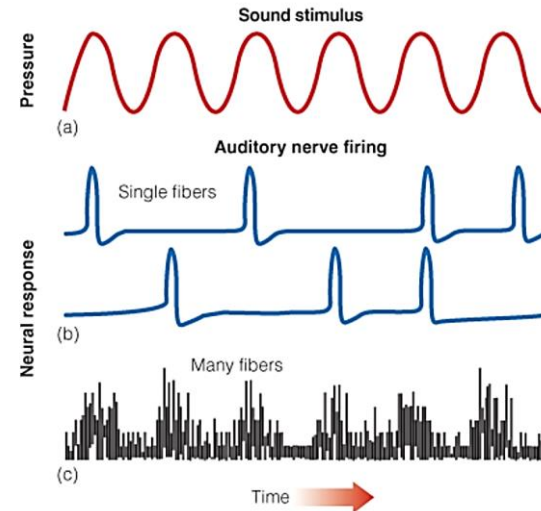
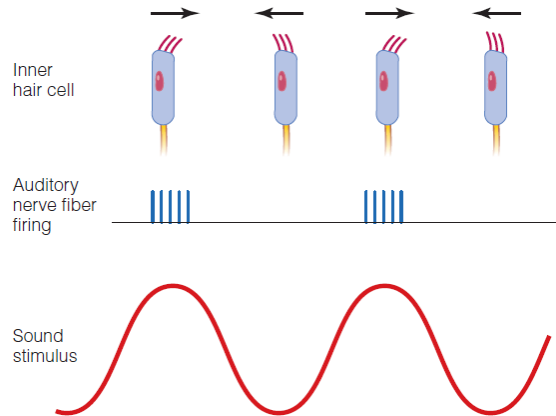


Schwingung der Basilarmembran
enthält alle Harmonischen!



Zeitliche Codierung von Tonhöhe

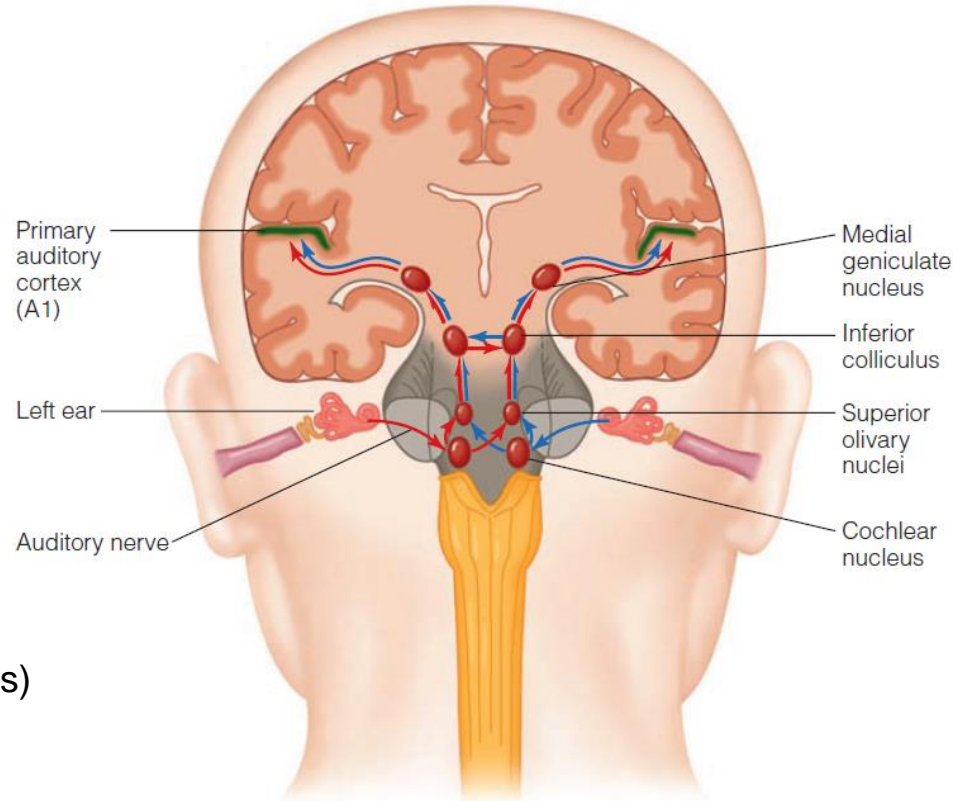
- **Phase Locking:** Haarzellen feuern synchron mit Schalldruckschwankungen
 - Auslenkung der Stereozilien bei Druckanstieg (Haarzelle feuert), Auslenkung in Gegenrichtung bei Druckabsinken (kein Feuern)
- **Problem:** Einzelne Neuronen verpassen manche Druckmaxima (aufgrund der Refraktärzeit → max. 500 Impulse/Sekunde)
- **Salvenprinzip:** Aktivierungsmuster vieler Neurone spiegelt Frequenz des Schalls wider (bis 5000 Hz)



Die Hörbahn

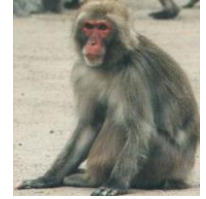
Ipsi- und kontralaterale Verschaltung

1. Innere Haarzellen → Hörnerv (Nervus vestibulocochlearis)
2. subkortikale Strukturen:
 - Nuclei cochleares
 - Obere Olivenkerne (Hirnstamm)
→ binaurale Lokalisation
 - Colliculus inferior (Mittelhirn)
→ binaurale Verarbeitung
 - Corpus geniculatum mediale (Thalamus)
3. Primärer auditorischer Kortex (A1) im Temporallappen
4. Sekundärer (Gürtel) und assoziativer auditiver Kortex → Identifizierung von Schallen

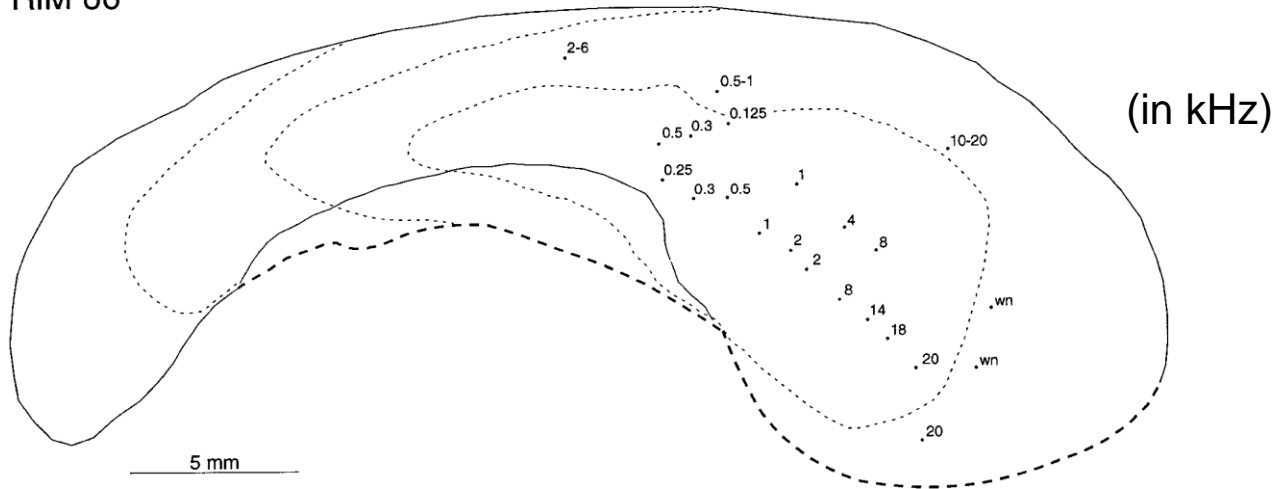


Tonotope Organisation im auditiven Kortex

- Primärer auditiver Kortex (A1) von Japanmakaken (Kosaki et al., 1997)
 - Tiefe Frequenzen liegen anterior (vorne), hohe Frequenzen posterior (hinten)



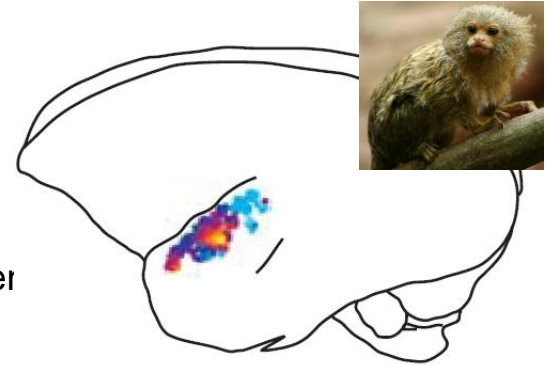
RiM 66



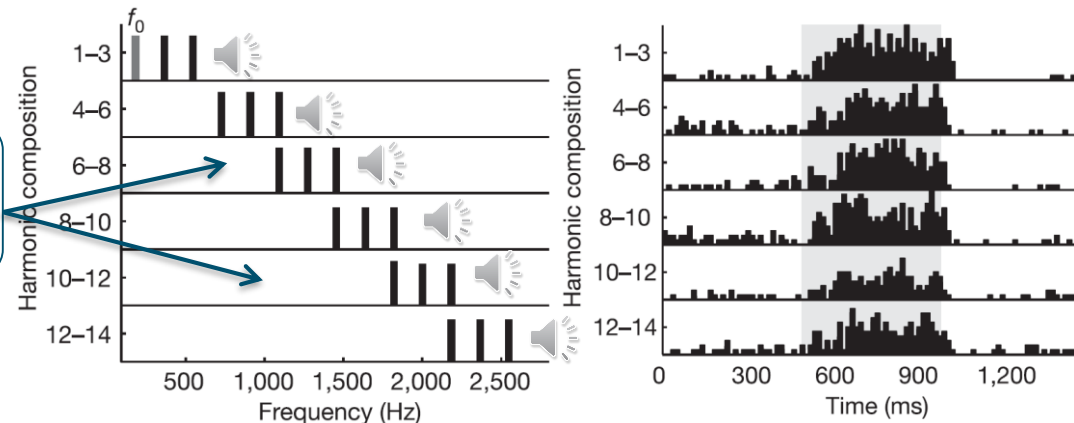
- Wie kann man zeigen, dass das auch etwas mit **Tonhöhenwahrnehmung** zu tun hat?

Tonhöhe im Gehirn

- **Tonhöhenneuronen** im auditiven Kortex des Zwergseidenaffen (Bendor & Wang, 2005):
 - feuern bei bestimmtem Sinuston (182 Hz) und komplexen Tönen die mit derselben Grundfrequenz ($f_0=182$ Hz) verbunden sind
 - auch wenn Grundfrequenz nicht vorhanden!
 - feuern nicht bei einzelnen Harmonischen (z.B. 364 oder 546 Hz)

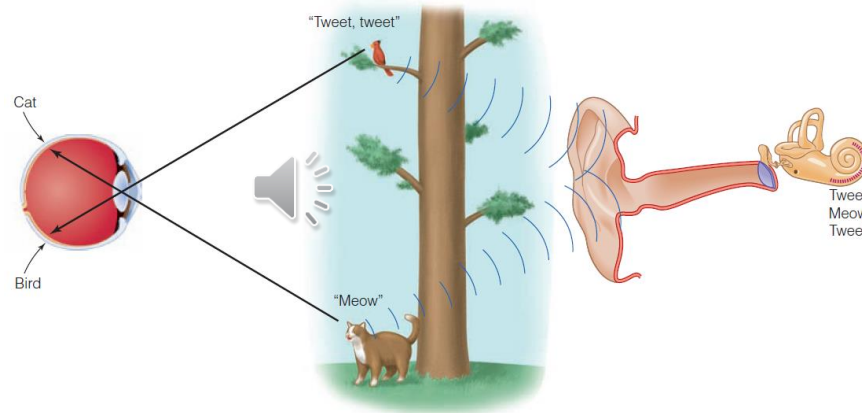
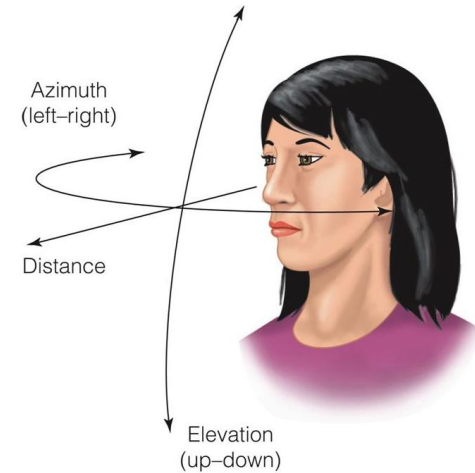


Diese komplexen Töne werden von Menschen als gleich hoch wahrgenommen!



Richtungshören

- Wie kann eine Schallquelle im Raum lokalisiert werden?
 - Pegel → **Entfernung**
 - Binaurale Hinweisreize → **Azimut**
 - Interaurale Zeitdifferenz (ITD; interaural time difference)
 - Interaurale Pegeldifferenz (ILD; interaural level difference)
 - Monaurale Hinweisreize
 - Schallspektrum abhängig von Form der Pinna (Ohrmuschel) → **Elevation**

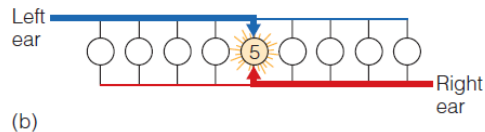
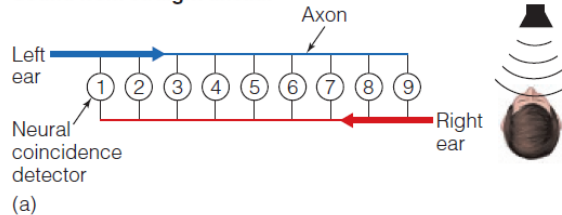


Binaurale Hinweisreize

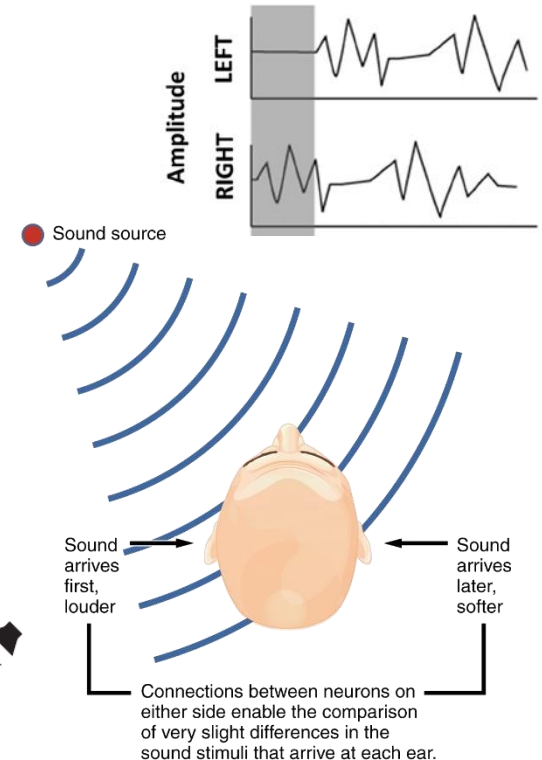
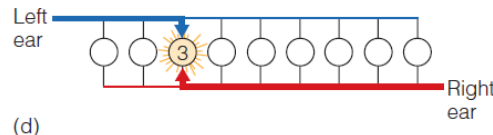
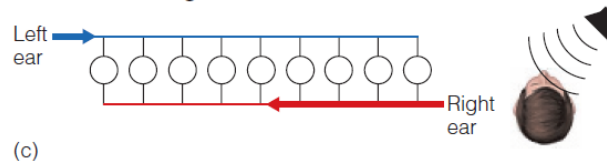
▪ Interaurale Zeitdifferenz (ITD)

- Schall von der Seite erreicht ein Ohr früher als das andere.
→ Phasenverschiebung der Wellenformen
- **Koinzidenzdetektor** feuert bei gleichzeitigem Eintreffen der Signale von rechts und links (Modell nach Jeffress, 1948):
 - Neuron 5 feuert bei Schallen, die von vorne kommen (ITD = 0)
 - Neuron 3 feuert bei Schallen, die von rechts kommen (ITD > 0)

Sound from straight ahead:



Sound from the right:

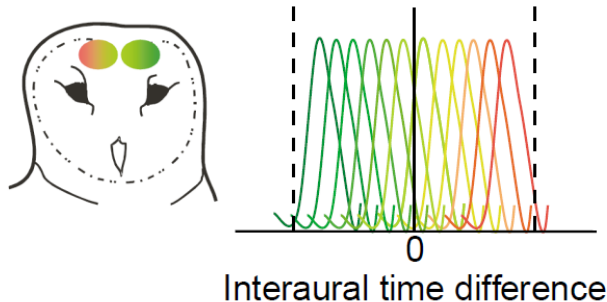


Binaurale Hinweisreize

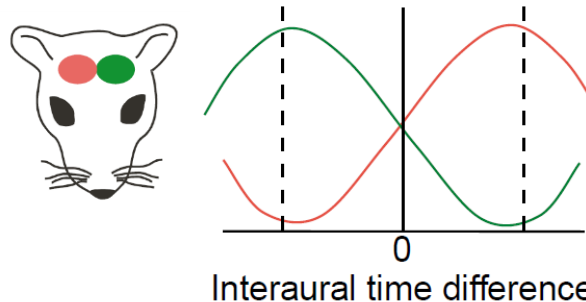
▪ Interaurale Zeitdifferenz (ITD)

- Neuronen im inferioren Colliculus und der oberen Olive feuern abhängig von der ITD:
Zeitdifferenz-Tuningkurven
- Art der Enkodierung unterscheidet sich (z.B. McAlpine & Grothe, 2003):
 - Vögel: **Einzelne Neuronen** kodieren räumliche Position → passt zu Jeffress-Modell!
 - Säuger: Räumliche Position wird durch Verhältnis der Aktivierungen **mehrerer Neuronen** kodiert!

Schmale Tuningkurven bei der Schleiereule (→ sehr gute Lokalisation)



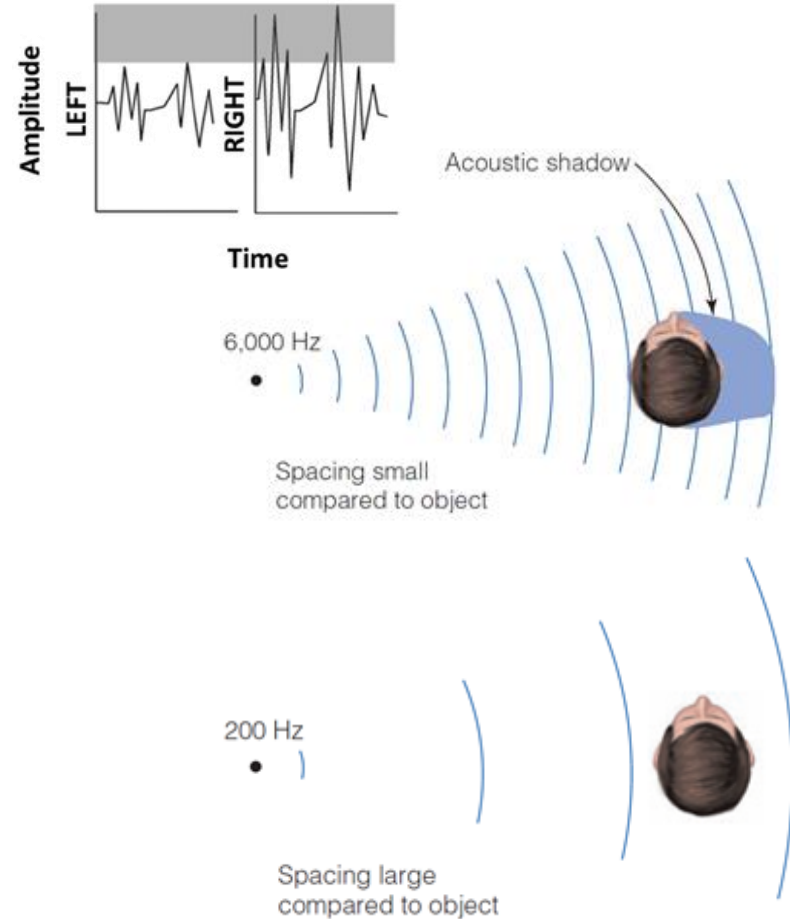
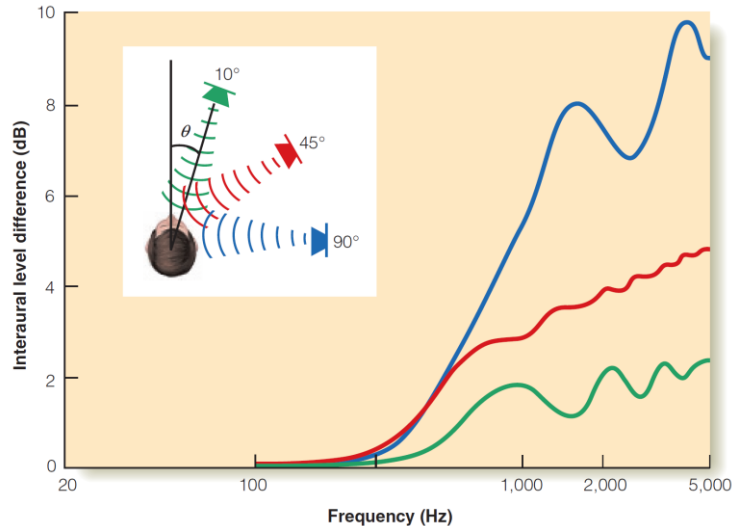
Breite Tuningkurven bei der Rennmaus (nur rechts/links Unterscheidung?)



Binaurale Hinweisreize

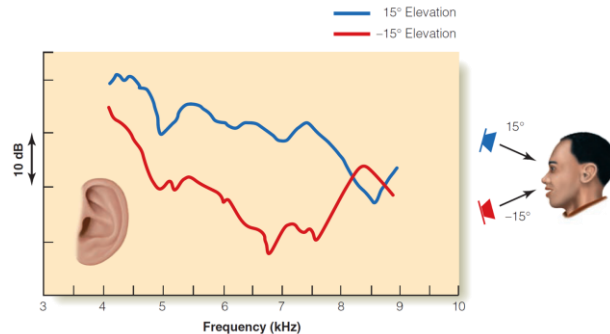
▪ Interaurale Pegeldifferenz (ITD)

- Schallschatten entsteht bei hochfrequentem Schall, der von der Seite kommt → Pegel auf einem Ohr ist etwas höher!
- ITD bei tiefen Frequenzen nicht nutzbar!



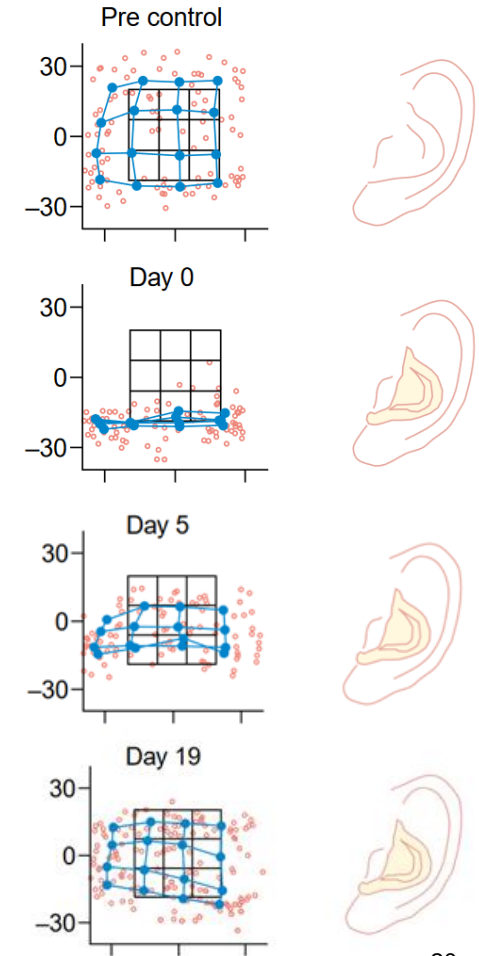
Monaurale Hinweisreize

- Form der Pinna als **Akustisches Prisma**: Frequenzen des Schalls werden an den Windungen der Ohrmuschel und im Gehörgang unterschiedlich stark reflektiert!
 - Hängt ab von der Elevation (Höhe) einer Schallquelle:



- Was passiert, wenn die Form der Pinna durch eine eingesetzte Füllung verändert wird?
 - Elevation von Schallquellen kann nicht mehr wahrgenommen werden (Azimut wird aber noch korrekt eingeschätzt)

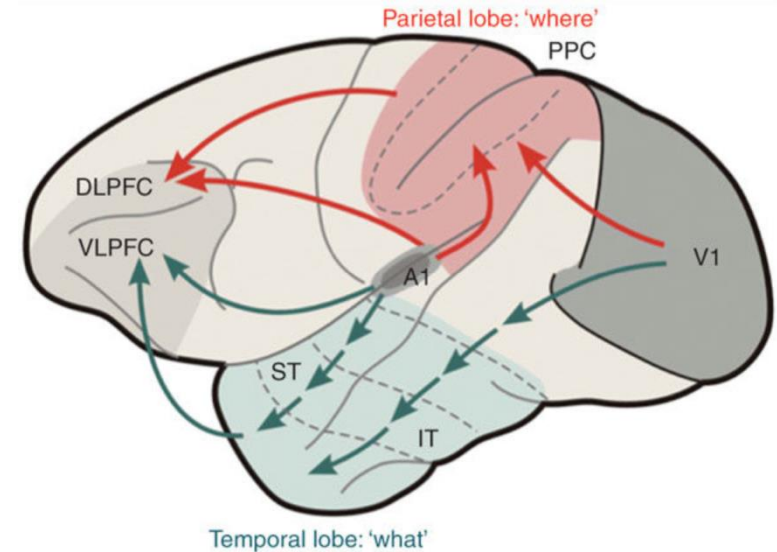
Hofman et al. (1998)



Auditive Lokalisation im Kortex

- Zerstörung bzw. Kühlung von A1 beeinträchtigt auditive Lokalisation (Malhotra et al., 2008; Nodal et al., 2010)
- **Was-Strom (ventral):** Vom **anterioren Gürtel zum PFC** → Identifikation von Schallereignissen
- **Wo-Strom (dorsal):** vom **posterioren Gürtel zum PFC** → Lokalisation von Schallquellen

Posteriorer Gürtel
 → Reagiert auf Schallpositionen



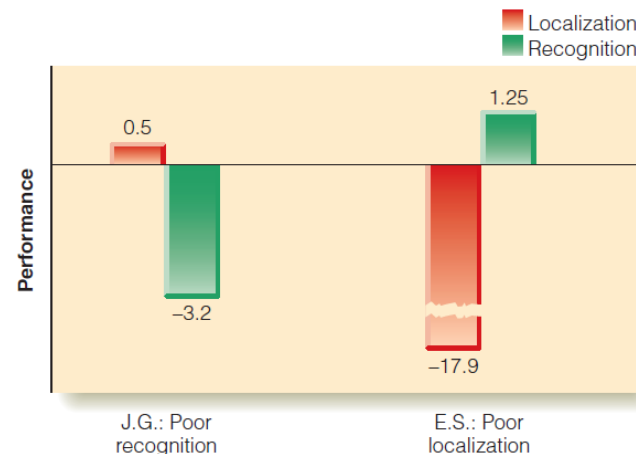
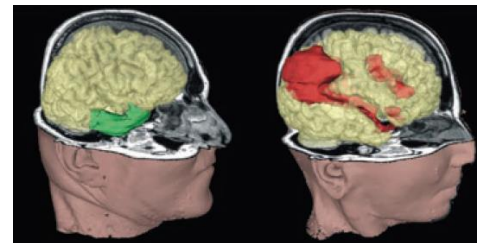
Anteriorer Gürtel
 → Identifizierung und Wiedererkennung von Schallen (z.B. komplexe Geräusche)

Auditive Lokalisation im Kortex

- Neuropsychologische Befunde:
 - J.G. (45 Jahre, männlich): Schädigung des **Temporallappens** nach Kopfverletzung
 - E.S. (64 Jahre, weiblich): Schädigung **parietaler und frontaler Regionen** nach Schlaganfall
- Zwei Aufgaben:
 - **Wiedererkennen:** Probanden sollen 50 Umweltgeräusche den Zeichnungen der Schallquelle zuordnen.
 - **Lokalisation:** Schalle mit unterschiedlichen ITDs werden präsentiert und Probanden sollen in die Richtung der Schallquelle deuten.

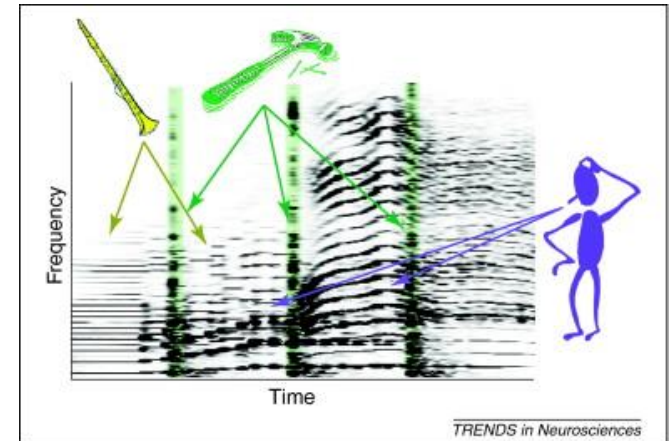
Patient J.G.

Patient E.S.



Auditive Szenenanalyse

- **Wie lassen sich verschiedene Schallquellen in einem komplexen akustischen Signal trennen?**
 - Herkunftsort (ITD, ILD)
 - Einsatzzeit: unterschiedliche Schallereignisse beginnen selten gleichzeitig
 - Tonhöhe und Klangfarbe (z.B. Tonleiterillusion)
 - Guter Verlauf: konstante oder sich langsam ändernde Schalle werden gruppiert
 - Erfahrung und Gedächtnis: Melodische Schemata



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Frohe Weihnachten!

