

# Echoortung:

## Mammalia

Chiroptera : Mikrochiroptera

Makrochiroptera (nur die Gattung Rousettus)

Cetacea: Odontoceti (Zahnwale)

Mysticeti (Bartenwale) – nicht -

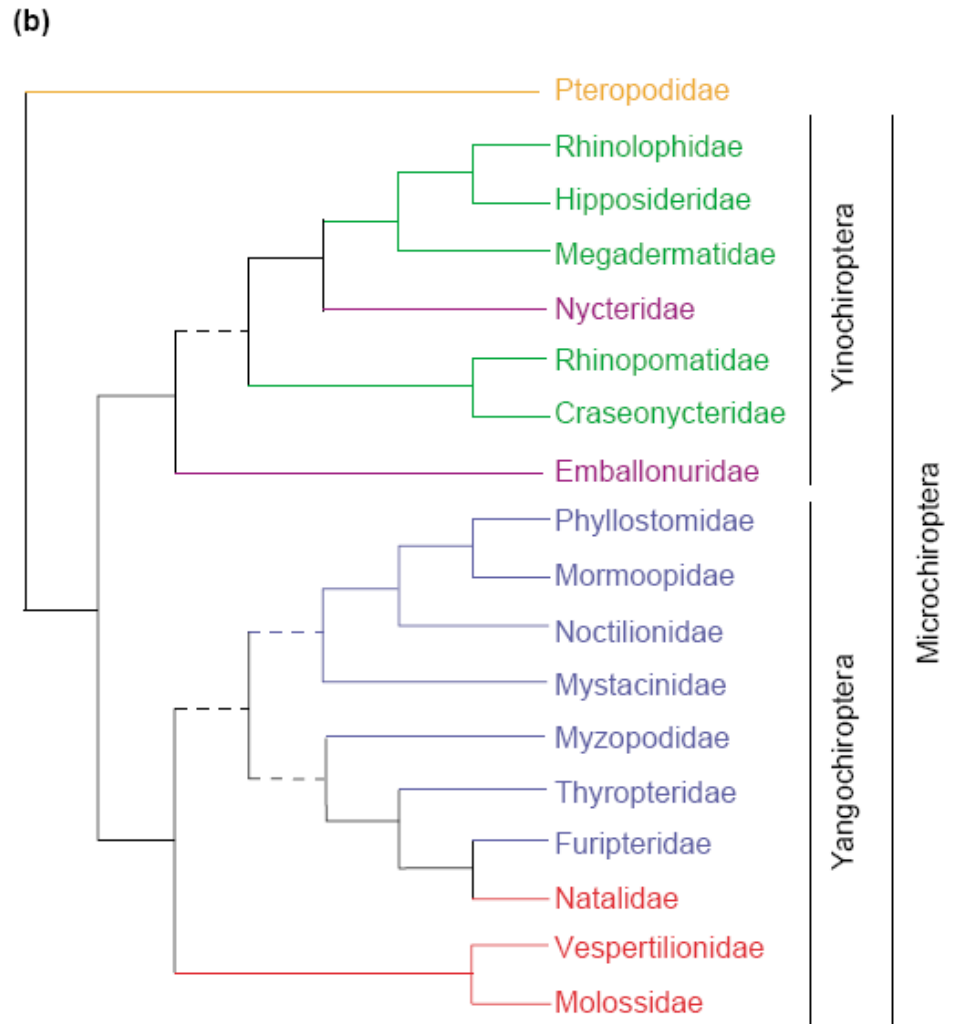
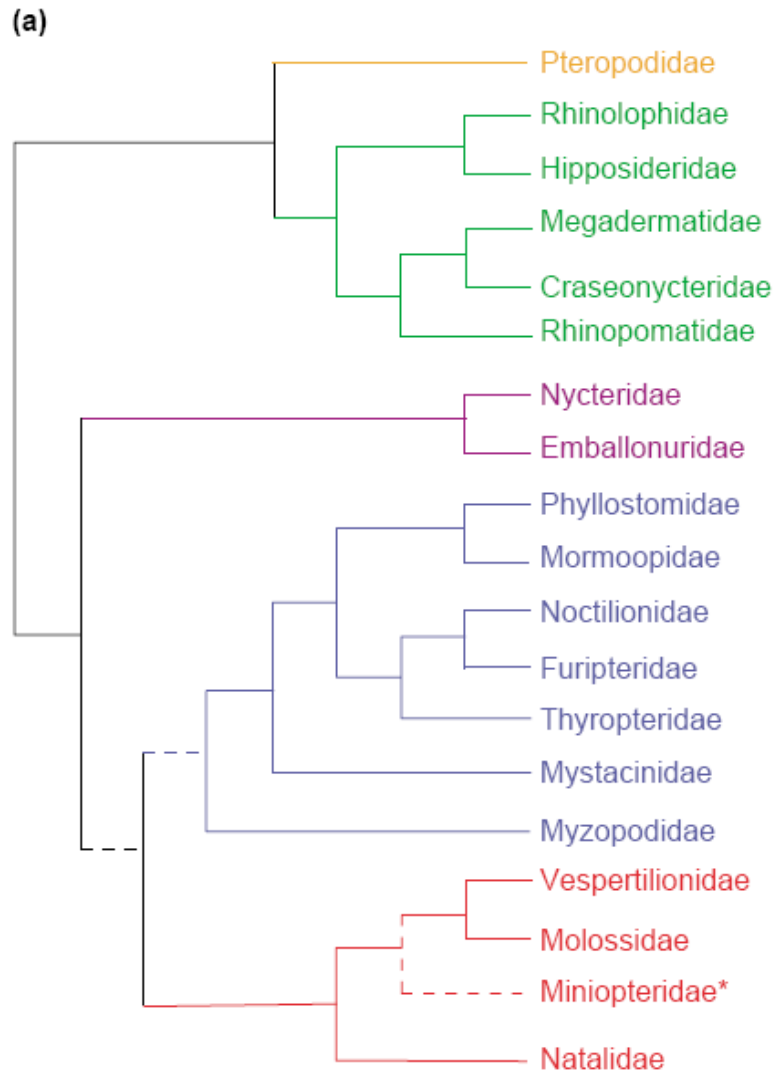
## Aves

Fettschwalm (Ordn. Nachtschwalben; Fam. Steatornithidae)

# bat evolution

molecular

morphological



■ Pteropodidae   
 ■ Rhinolophoidea   
 ■ Emballonuroidea   
 ■ Noctilionoidea   
 ■ Vespertilionoidea

# Wofür braucht man Echoortung ?

1. Detektion von großflächigen Hindernissen im Dunklen
2. Detektion und Identifikation von kleinen sich bewegenden Beutetieren

## Was braucht man für Echoortung ?

### 1. Ultraschall-Laute

Objekte werfen Echos zurück, solange die halbe Wellenlänge des Schalls nicht größer ist als die Objektgröße → in Luft  $V_{\text{Schall}} = 330 \text{ m/s}$ ;  $W = V/\text{Frequenz}$

→ um ein Beuteinsekt von **1 cm** zu detektieren benötigt man ein Signalfrequenz von **>16.5 kHz**

Im Wasser ist  $V_{\text{Schall}} = 1500 \text{ m/s}$  → Detaildetektion nochmals schwieriger

### 2. Hohe Lautstärke,

da kleine Objekte nur wenig Schallenergie zurückwerfen und Ultraschall in der Luft stark abgeschwächt wird. Trichterförmige Mäuler und Ohren sind von Vorteil. Es werden von Fledermäusen Lautstärken von 120 dB SPL (re 20  $\mu\text{Pa}$ ) erreicht, von Zahnwahlen bis zu 220 dB (re 1  $\mu\text{Pa}$ )

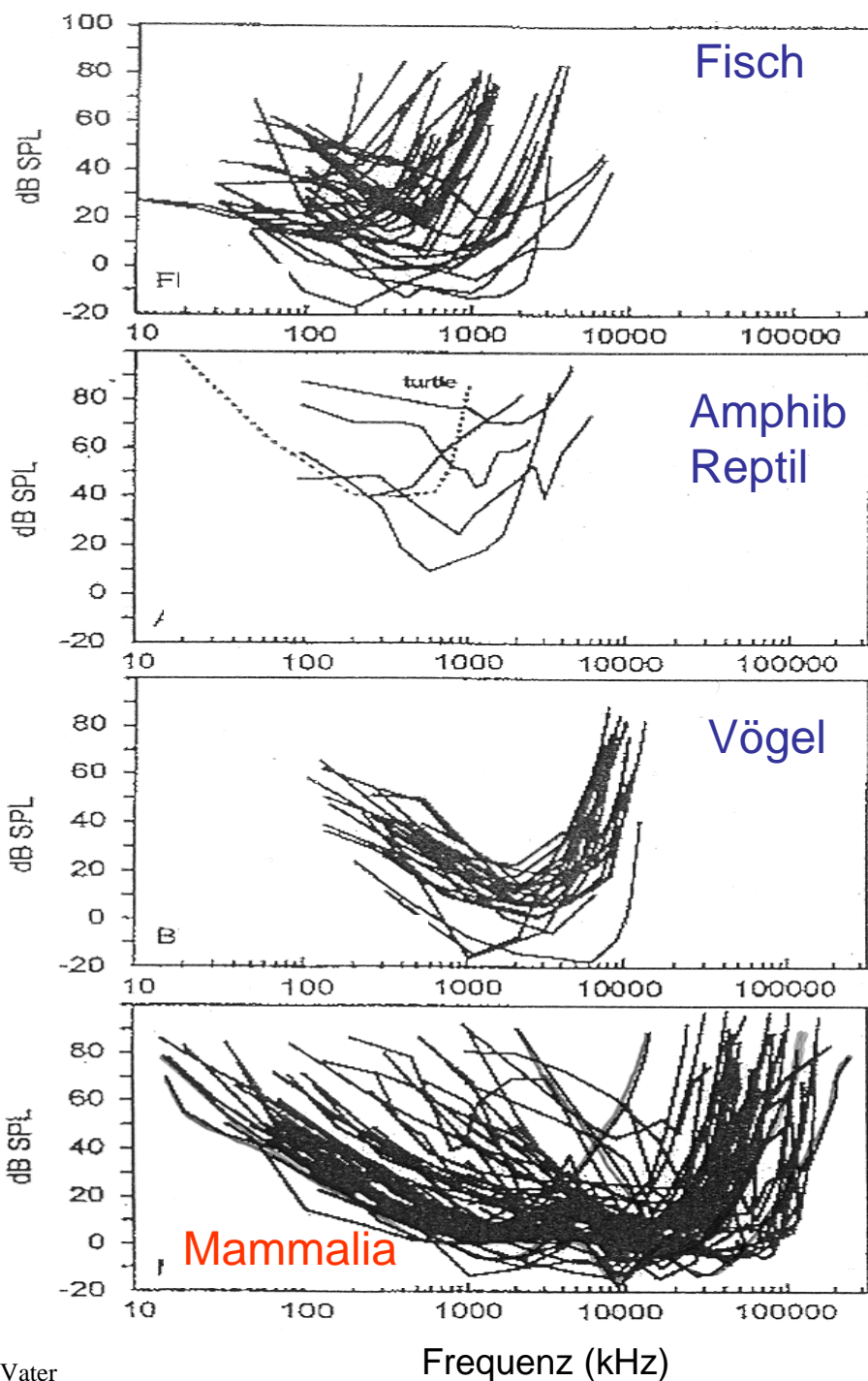
### 3 Ultraschall-sensitives Gehör

Hier haben Säuger einen entscheidenden evolutiven Vorteil: dank des 3-teiligen Mittelohrs und der aktiven Schallverarbeitung durch äussere Haarzellen im Innenohr wird Ultraschall gut wahrgenommen:

Spitzenreiter: *Clootis percivali*, die Dreizack-nasige Fledermaus 213 kHz

### 4 Neuronale Algorithmen zur Berechnung von Entfernung und Struktur von Objekten

# Hörbereiche der Wirbeltiere



## Mammalia

*Tiefrequenzspezialisten:*

Elefant, Mensch, Graumull

*Generalisten:* Katze, Gerbil

*Hochfrequenzspezialisten:*

Fledermäuse; Zahnwale



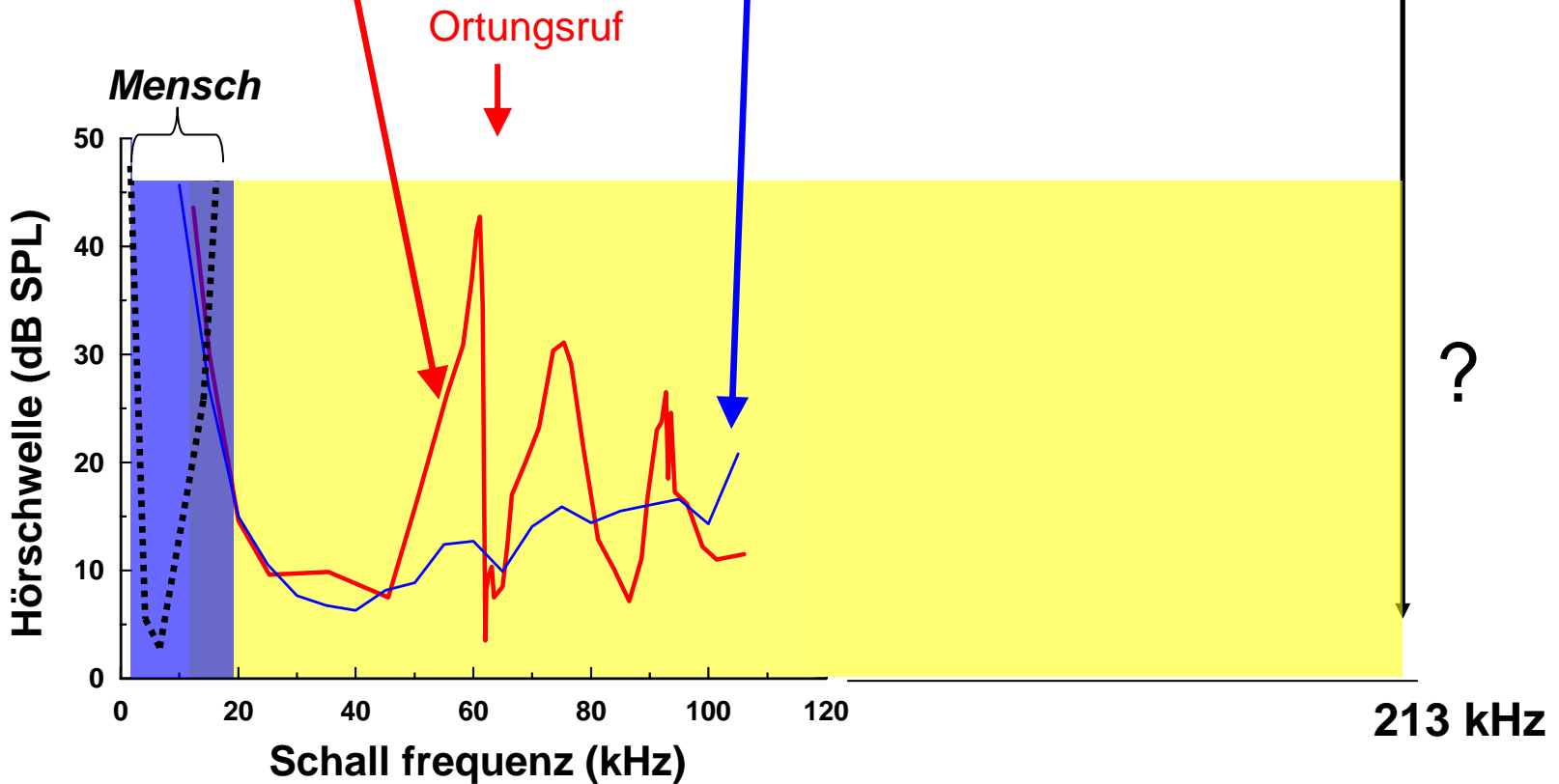
**Schnurrbart Fledermaus**  
*Pteronotus parnellii*



**Vierlippen Fledermaus**  
*Pteronotus quadridens*



**Kurzohrige Trident Fledermaus**  
*Cleotis percivali*



# Evolution von Echoortung

1. Orientierung in dunklen Wohnquartieren (Höhlen) mittels kurzer Klicklaute  
Wird auch von visuellen Tieren (Fettschwalmen, Großfledermaus Rousettus ) durchgeführt. Ist wichtig um gezielt landen zu können → möglicherweise bei Säugern assoziiert mit erstem Erwerb fliegender Lebensweise



1. Orientierung in äußerer Umgebung, Identifikation von Bäumen, Nachtblumen; Wichtig bei Nektar/Fruchtfressenden Mikrochiroptera



2. Detektion und Identifikation kleiner Beuteinsekten im freien Luftraum (die meisten insektenfressenden Mikrochiroptera) Verwendung frequenzmodulierter FM Ortungssignale



3. Detektion und Identifikation von Beuteinsekten im dichten Blattwerk (Fledermäuse mit konstantfrequenten CF-Ortungssignalen)



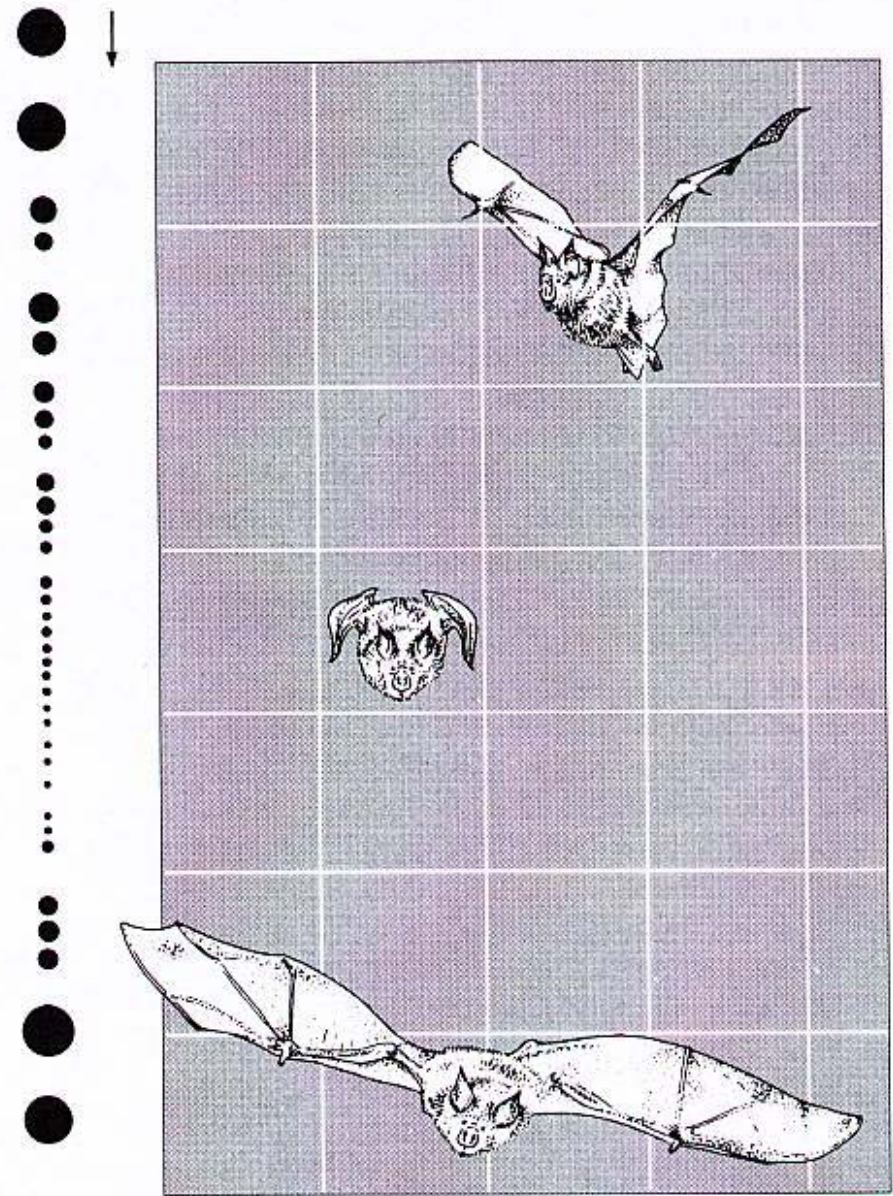
?



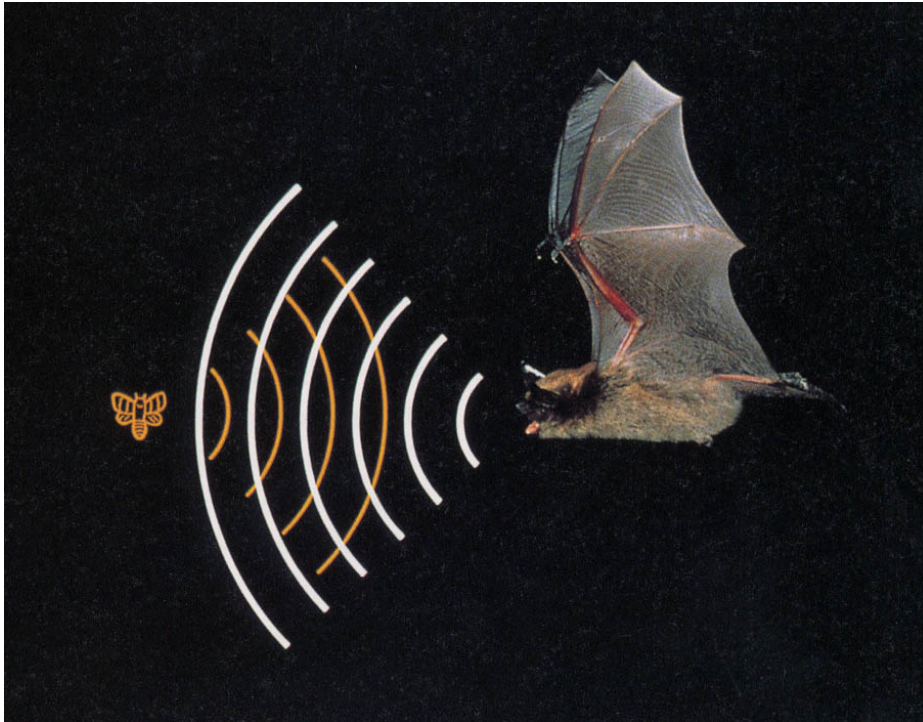
# Erkennen eines Drahtgitters

Eine große Hufeisennase beim Durchfliegen eines Nylonnetzes mit 14 cm Maschenabstand und  $80 \mu\text{m}$  Fadendicke. Dauer, Wiederholperioden und Amplituden der Ortungssignale sind mit Kreisen (links) kodiert.

100  
ms



# Information in den Echos



D = Distanz zur Beute (m)

t = Echoverzögerung (s)



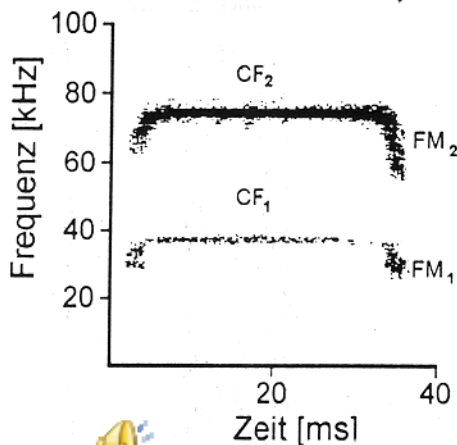
$$D = 330\text{ms}^{-1} * t / 2$$

- Echoverzögerung kodiert Entfernung zur Beute
- Echolautstärke kodiert Größe des Objekts
- Differenz der Ankunftszeit des Echos an beiden Ohren kodiert Richtung des Objekts
- Veränderungen in der Frequenzstruktur des Echos entsprechen spezifischen Oberflächenstrukturen von Objekten
- Bewegungen der Beuteinsekten führen zu Frequenz- und Amplitudenmodulationen im Echo

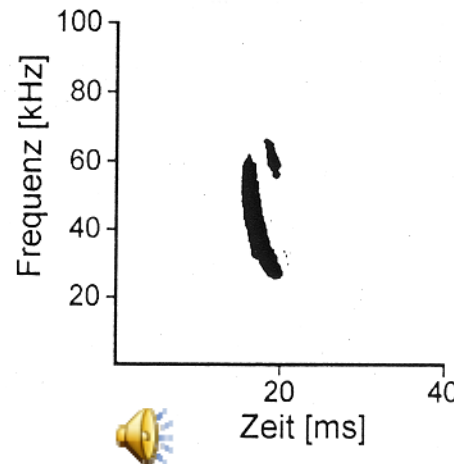


*Ortungssignale*

## CF-FM Sonar



## FM Sonar



**Lauterzeugung:**  
Kehlkopf

**Lautaussendung:**  
Nase  
Maul

**Ortungslaute:**  
Reintöne (CF)  
Frequenzmodulationen (FM)  
CF + FM Kombinationen  
Lautdauer: 1 – 80 ms

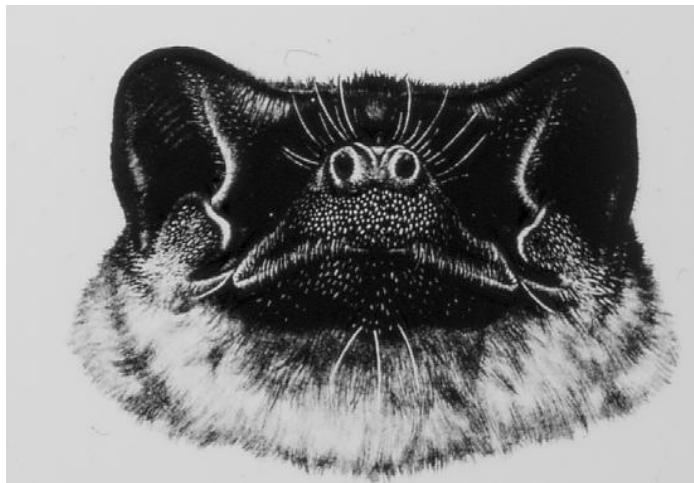
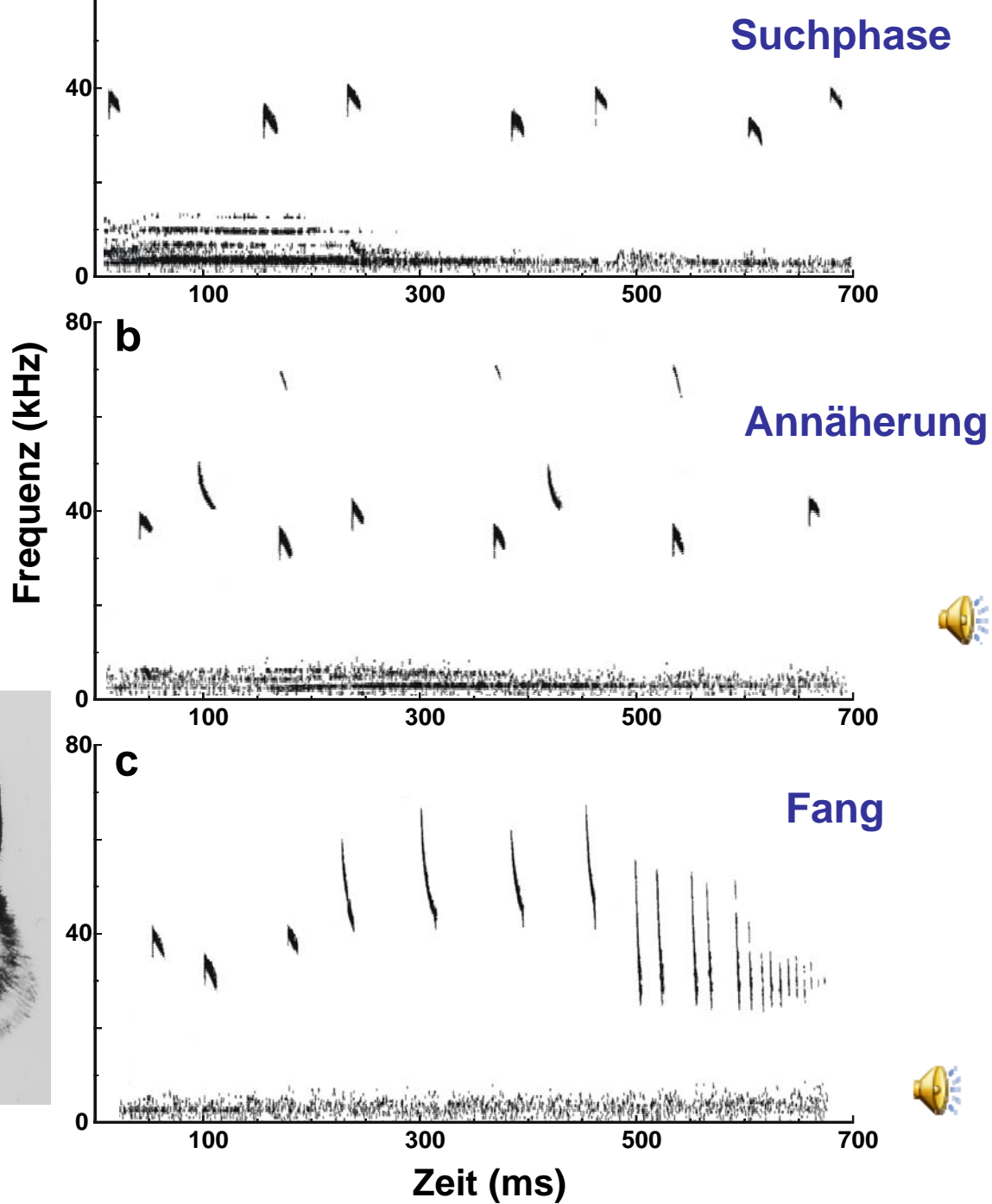
**CF-FM** wird bei Jagen in dichter Vegetation benützt

**Vorteil:** gute Detektion und Bewegungserkennung (Doppler)

**FM** wird bei Jagen in freiem Luftraum benützt

**Vorteil:** präzise Zeitmessung und Erkennung von Oberflächenstrukturen (Breitbandig)

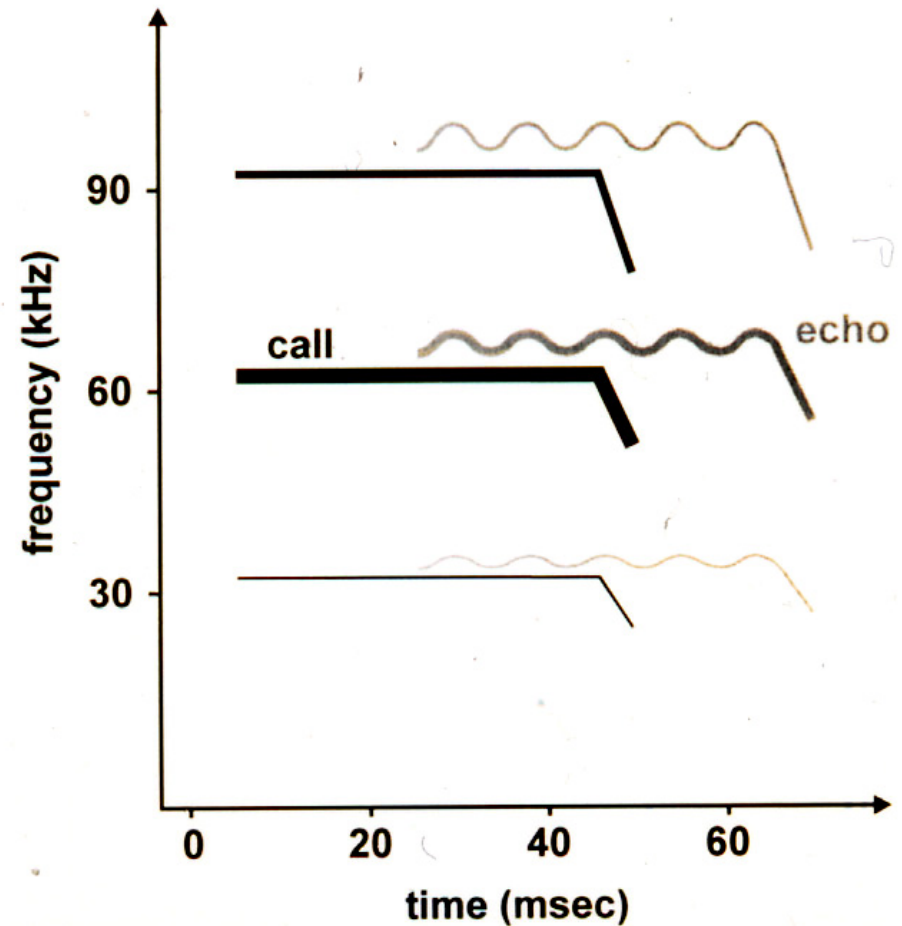
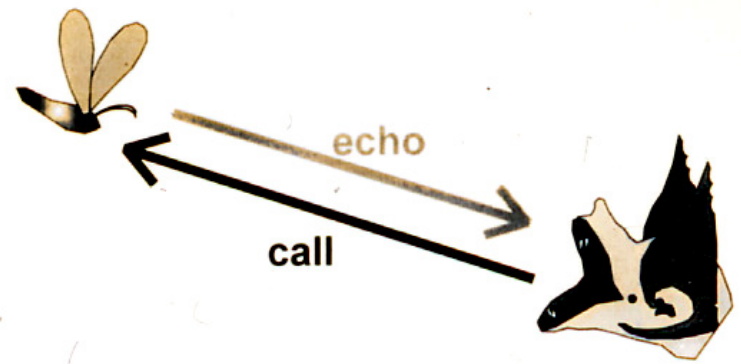
# Rufsequenz von Molossus



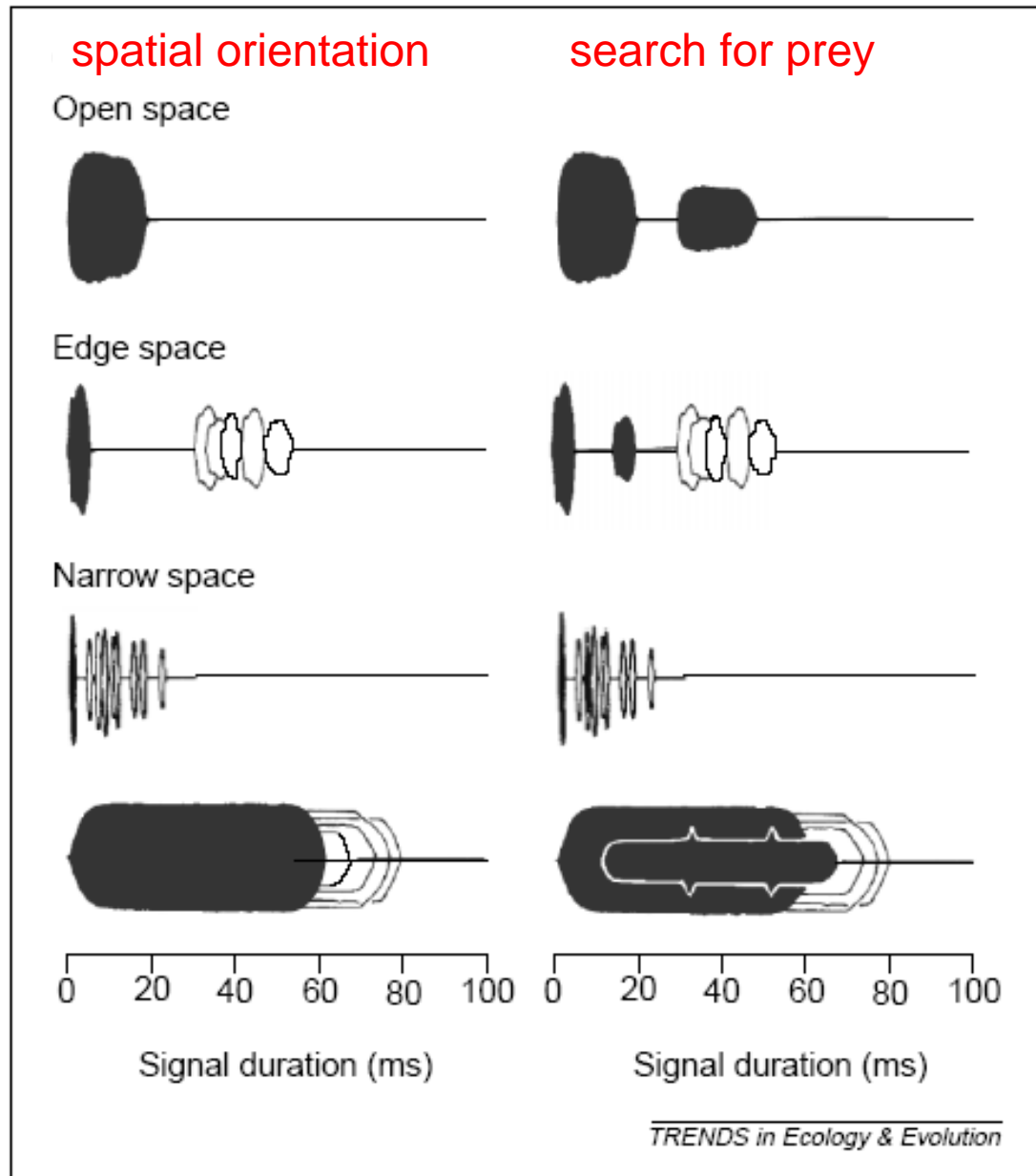
## Doppler-Effekte:

Anhebung der Echofrequenz aufgrund der Eigengeschwindigkeit der Fledermaus

Rhythmische Frequenzmodulationen im Echo aufgrund der Flügelbewegungen des Insekts



# echolocation tasks





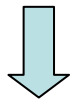
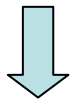
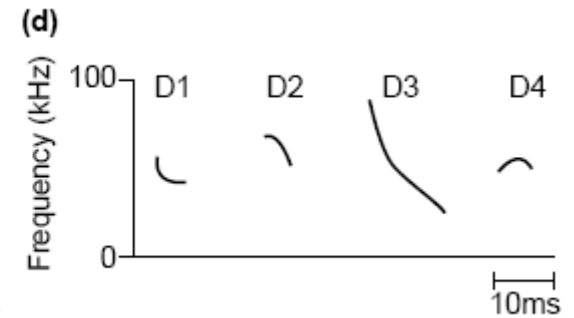
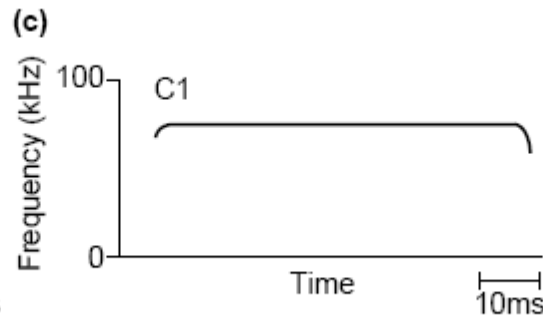
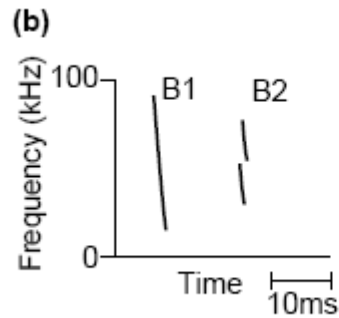
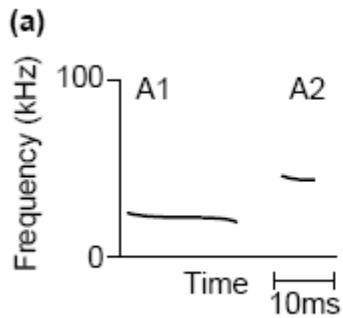
# suitability of signal structure

narrowband  
FM

broadband  
steep FM

long CF

mixed signals

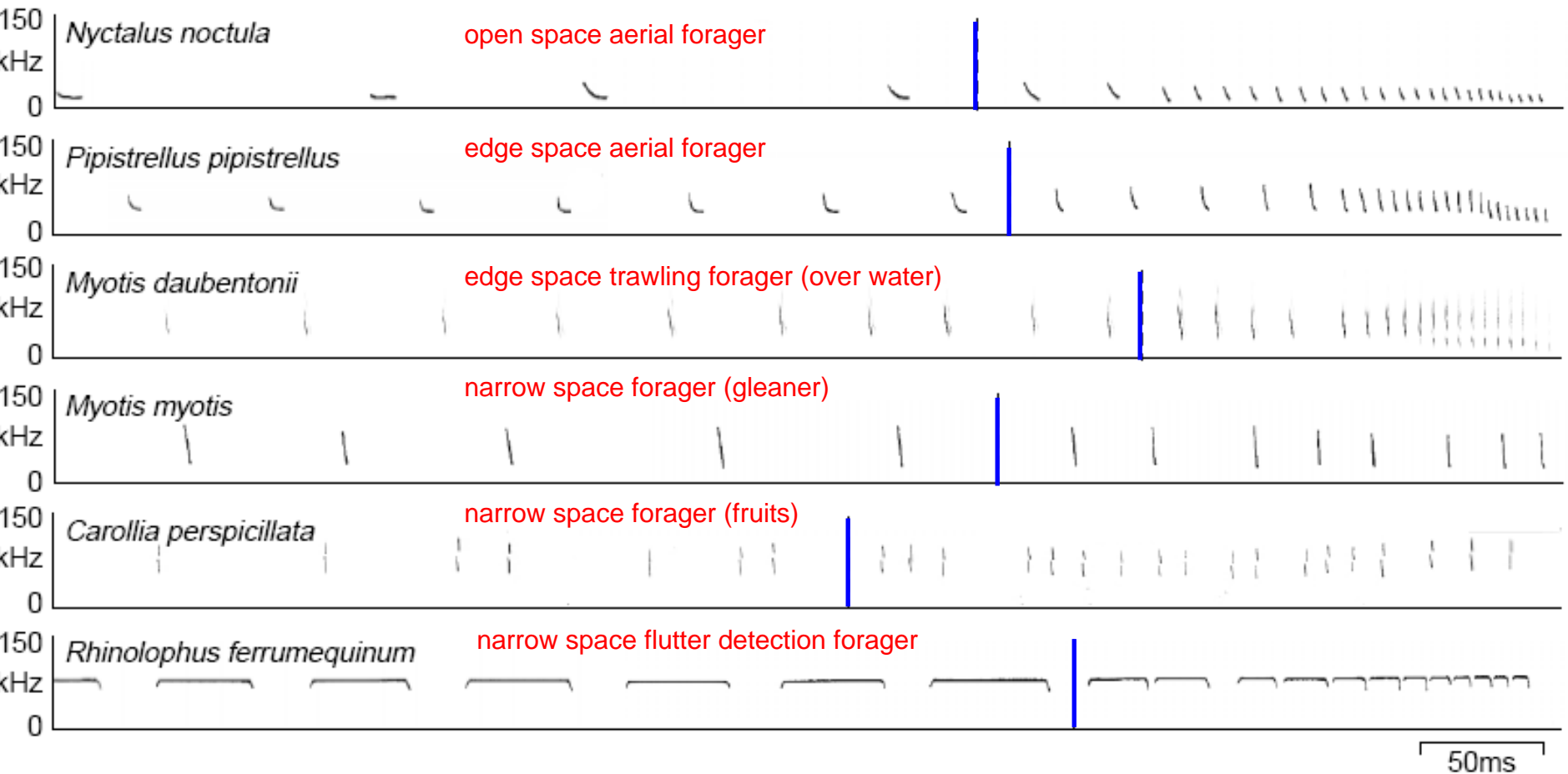


- detection
- target movement sensitive
- fluttering insect detection (glints)

- accurate target localization
- spectral cues for target discrimination
- spectral cues to distinguish plants (orientation)

- detection
- target movement sensitive
- fluttering insect detection (glints)
- classify fluttering insects in cluttered environment

# forager groups and their signals

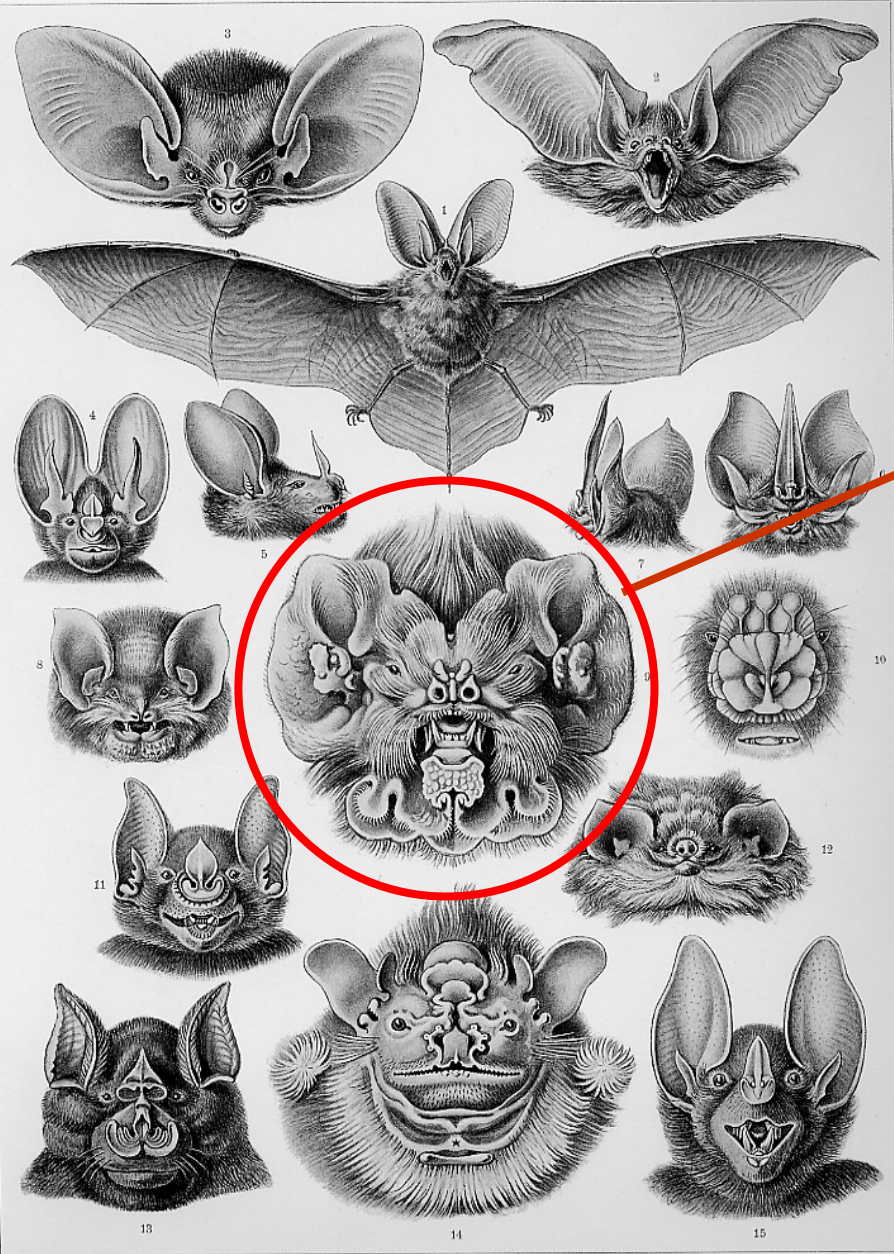


*Aussenohr*

*Lavia frons*

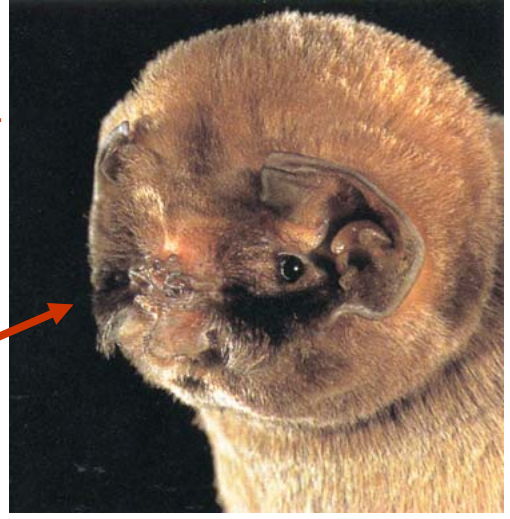






Chiroptera. Fledertiere.

karibische Gespenster-  
gesichtsfladermaus  
*Mormoops*



verbeulter  
Schädel ?





# die flüsternden Fledermäuse: Ohren als Richtantennen und Verstärker

*Megaderma lyra*



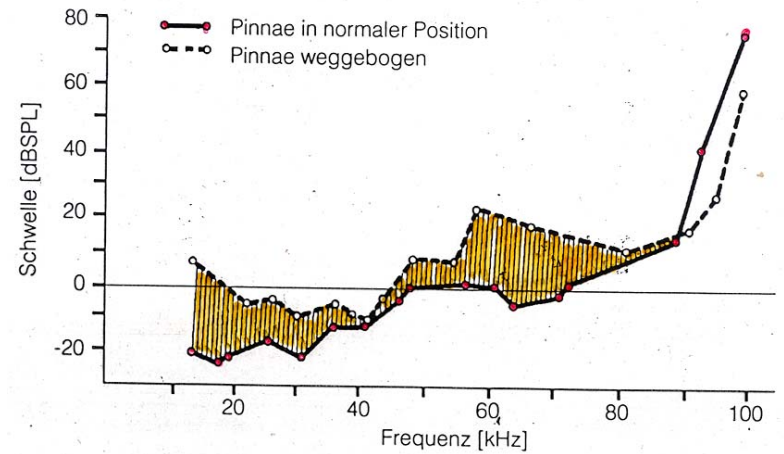
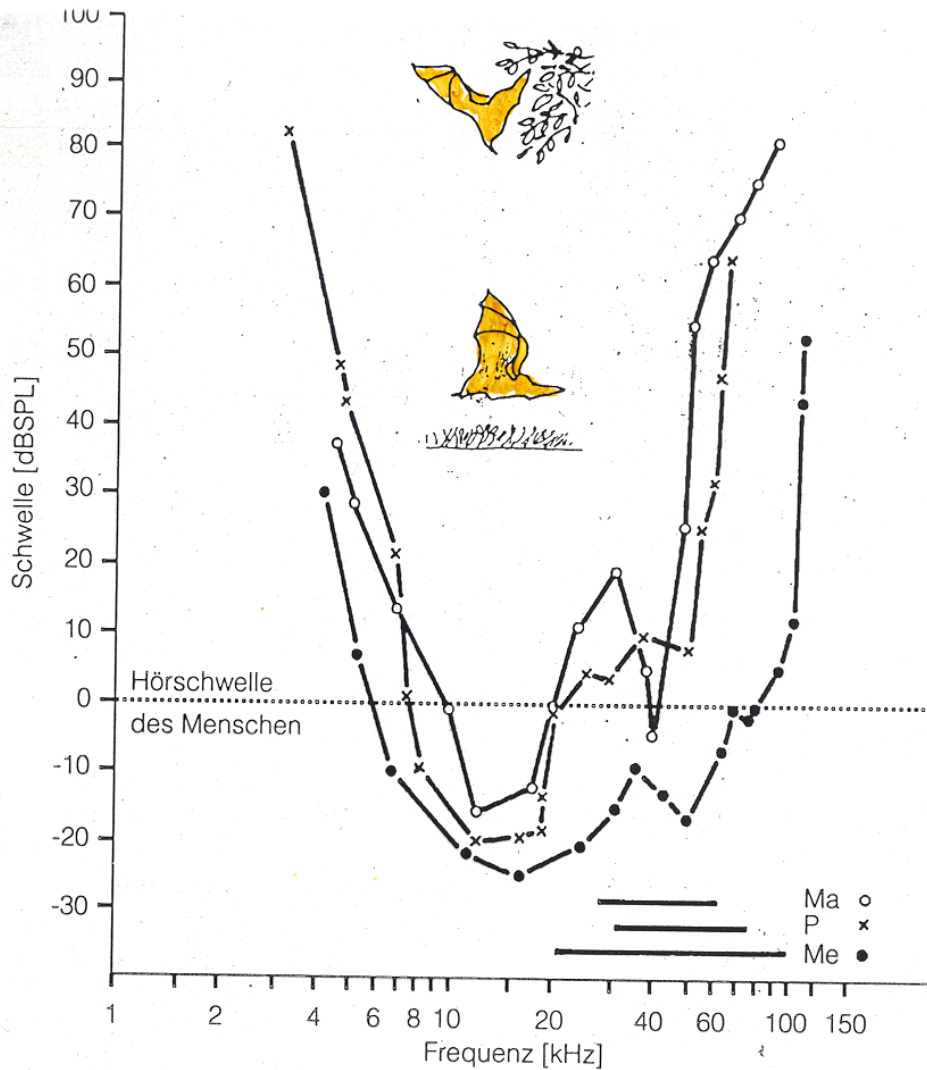
*Macroderma  
gigas*



photo: Merlin Tuttle



# Ohren als Richtantennen und Verstärker

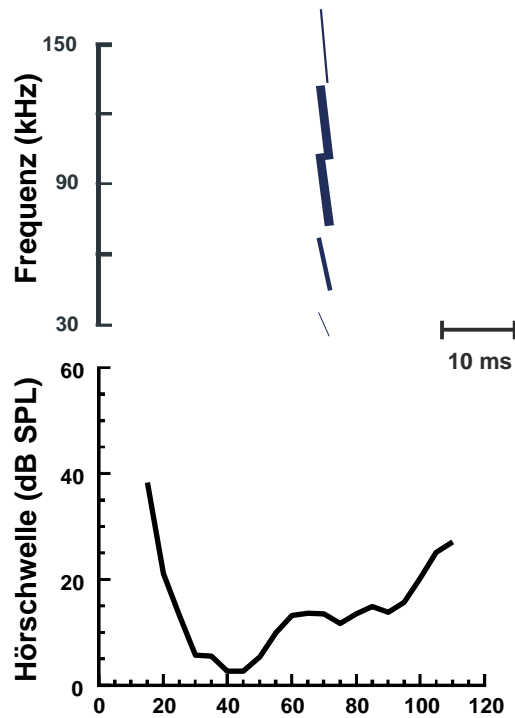


*Innenohr*

*Mormoops blainvillii*



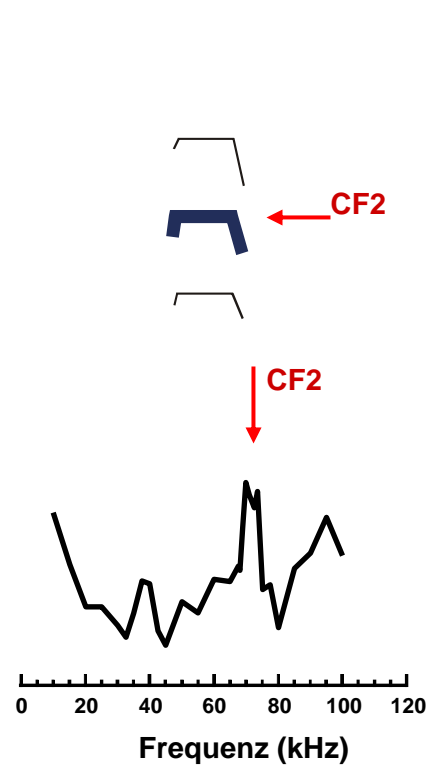
**FM Ruf**



*Hipposideros lankadiva*



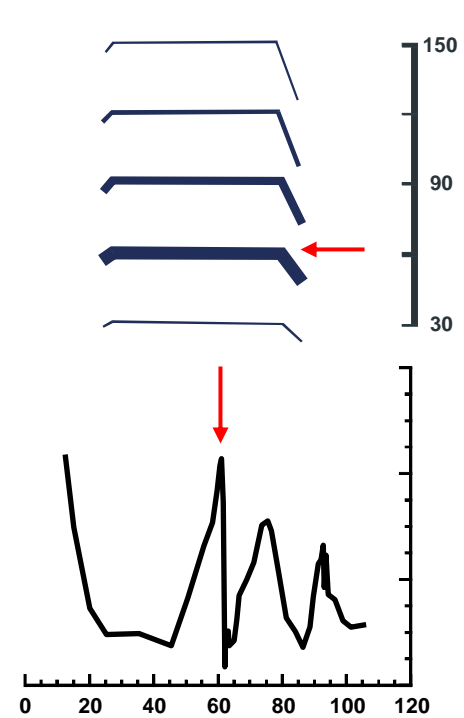
**Kurzer CF- FM Ruf**



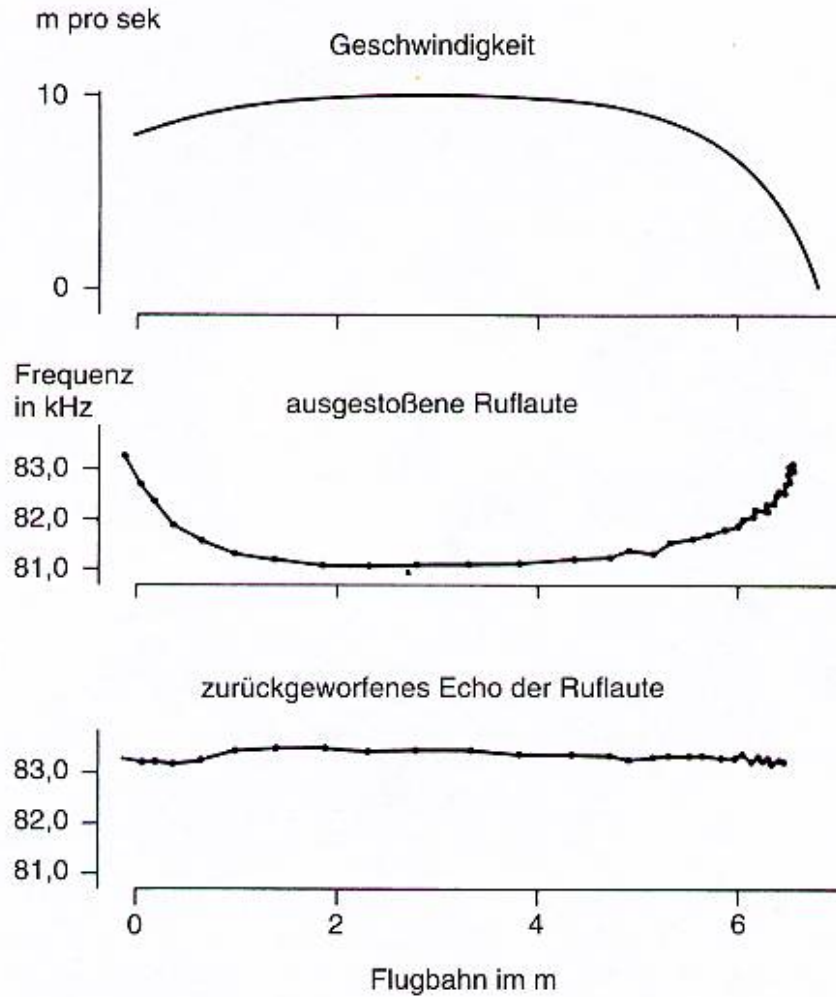
*Pteronotus parnellii*



**Langer CF- FM Ruf**



# Dopplereffekt Kompensation

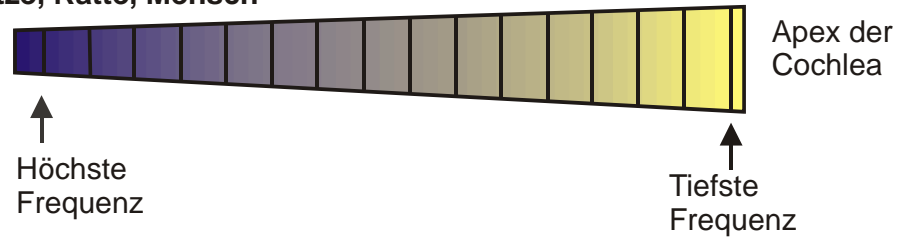




# Auditorische Foveae im Innenohr

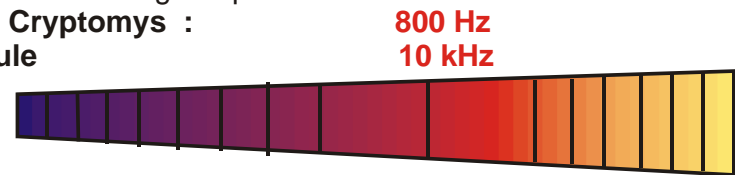
## Normales Innenohr:

gleichmäßige Verteilung der Tonfrequenzen  
entlang der ausgerollten Gehörschnecke  
z.B. bei **Katze, Ratte, Mensch**



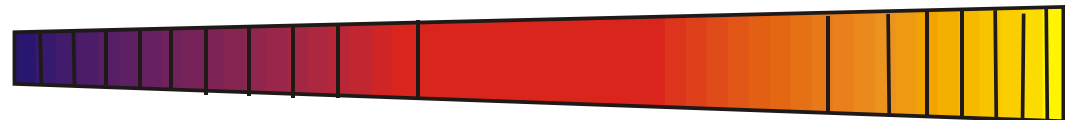
## Fovea

**Spreizung** einer Vorzugsfrequenz  
**Wühlmaus Cryptomys :**  
**Schleierreule**

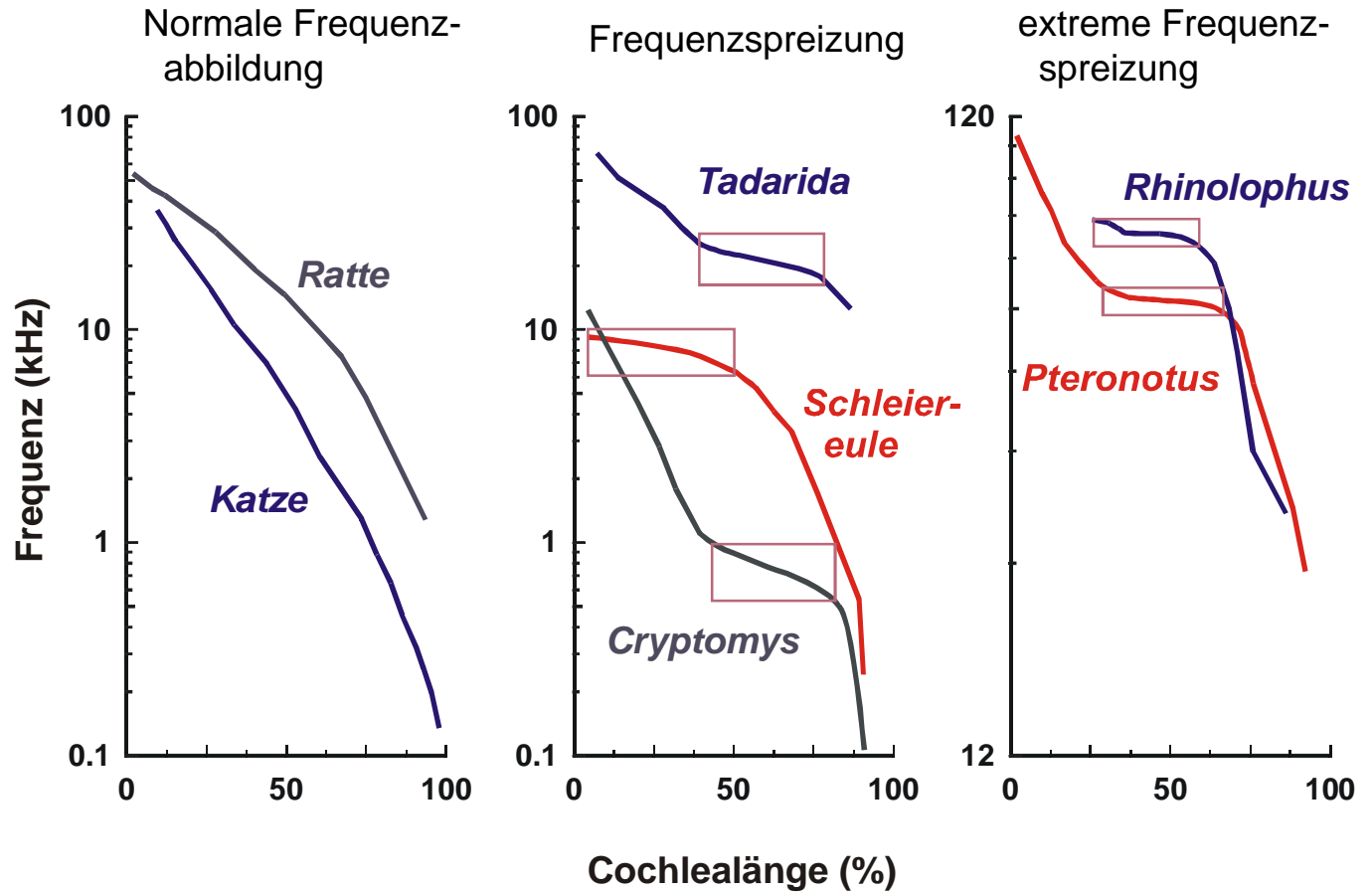


## Hochleistungs- Fovea

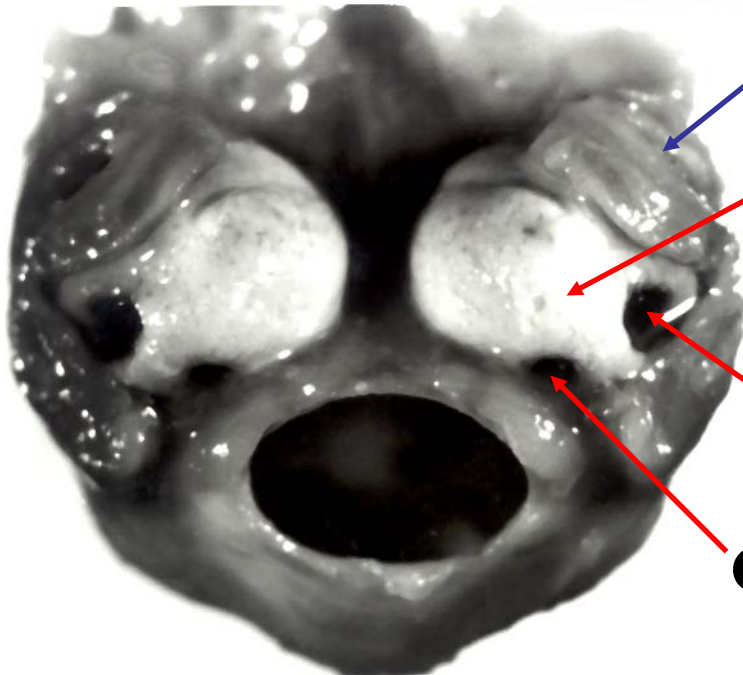
**Extreme Spreizung** einer Vorzugsfrequenz  
und Verlängerung der Innenohrs  
**Schnurrbartfledermaus;**  
**Hufeisennasenfledermaus:**



# Auditorische Foveae im Innenohr



# Skull of newborn mustached bat



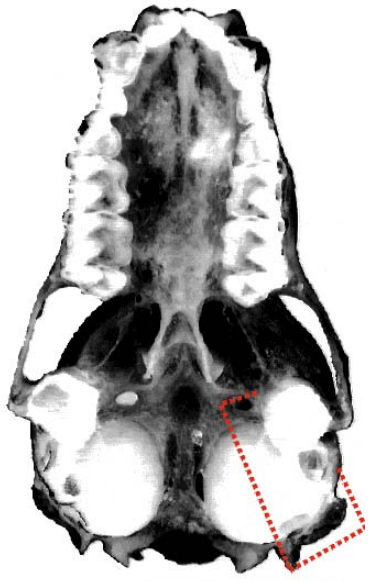
**Middle ear**

**Cochlea**

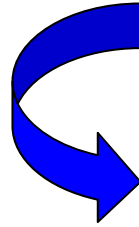
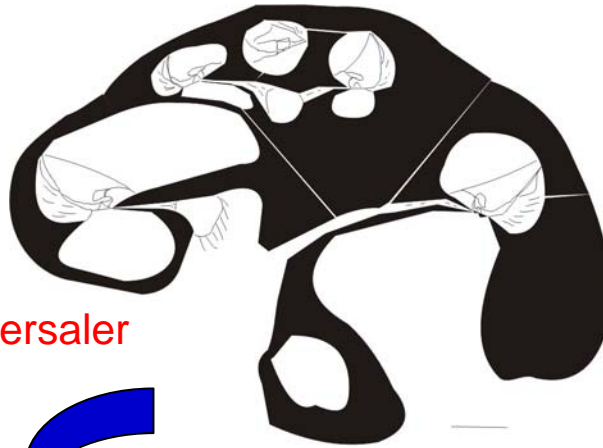
**Round window**

**Cochlear aqueduct**

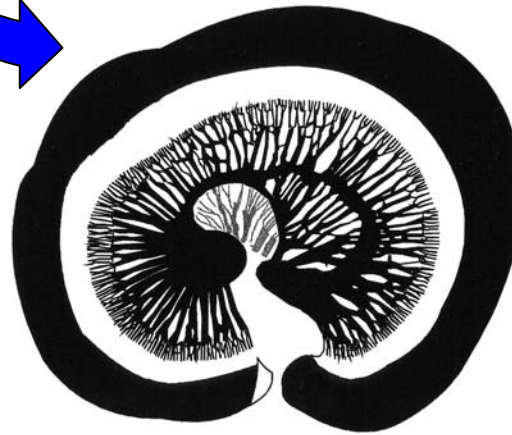
# Innenohr der Schnurrbartfledermaus



Transversaler Schnitt



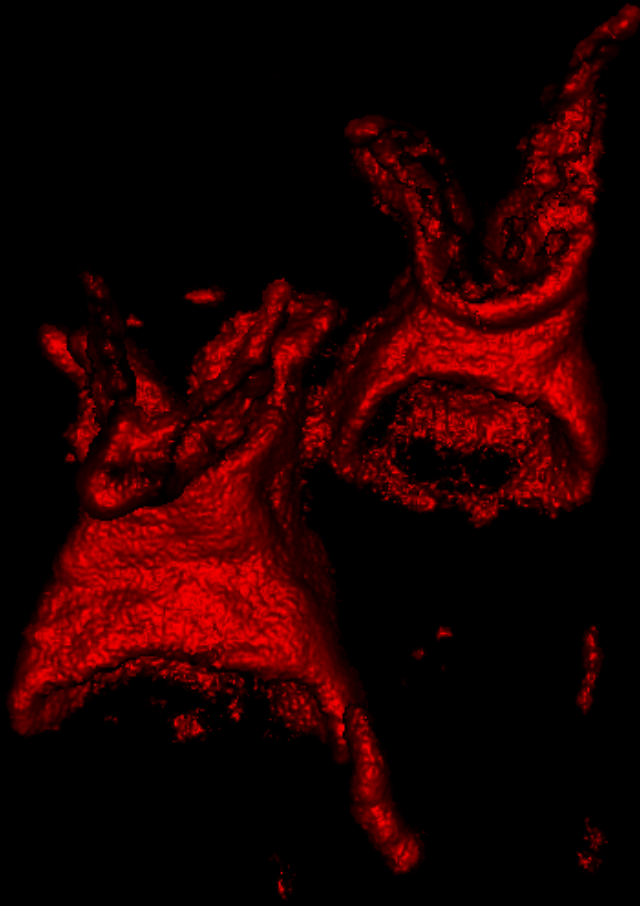
Horizontaler Schnitt der Basalwindung



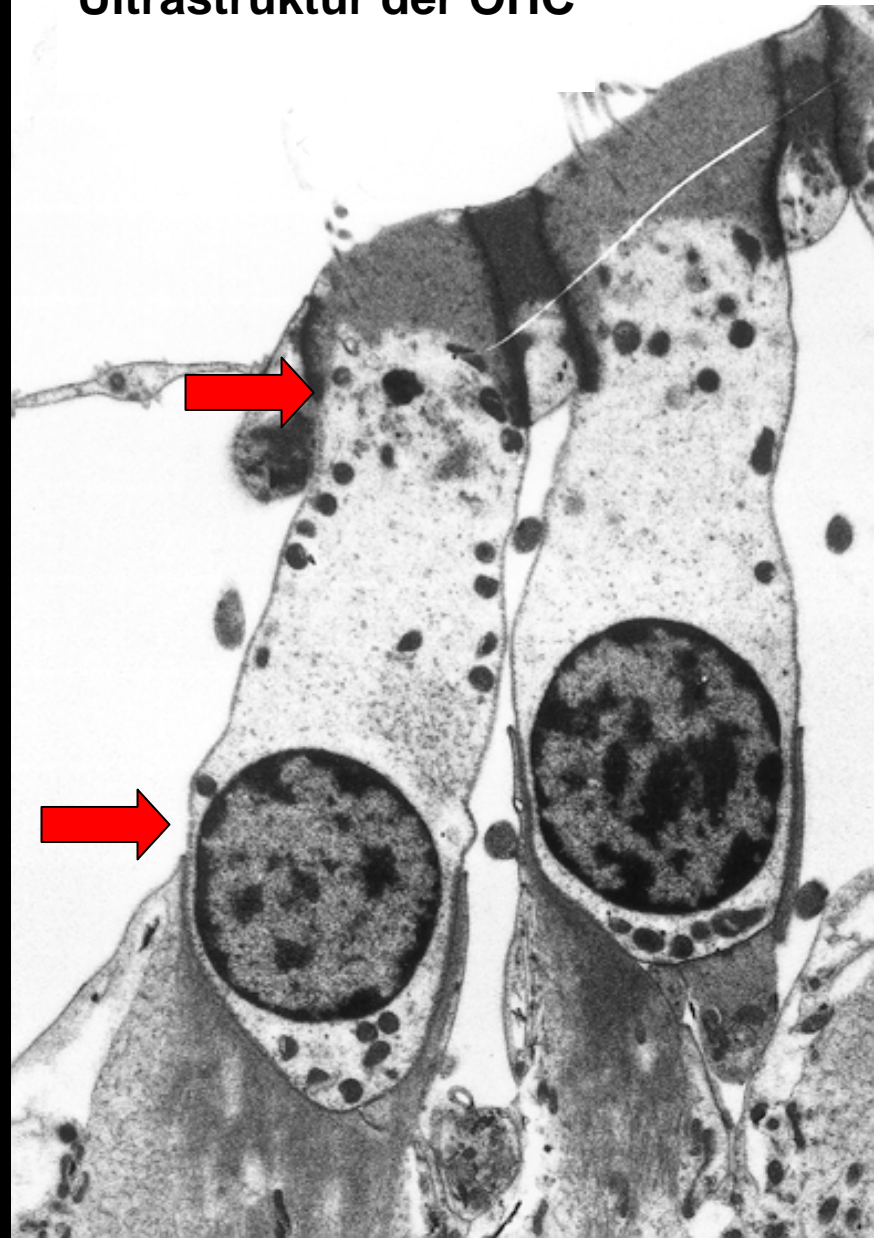
*Pteronotus parnelli*

*Pteronotus quadridens*

# Prestinmarkierung 3D-Rekonstruktion



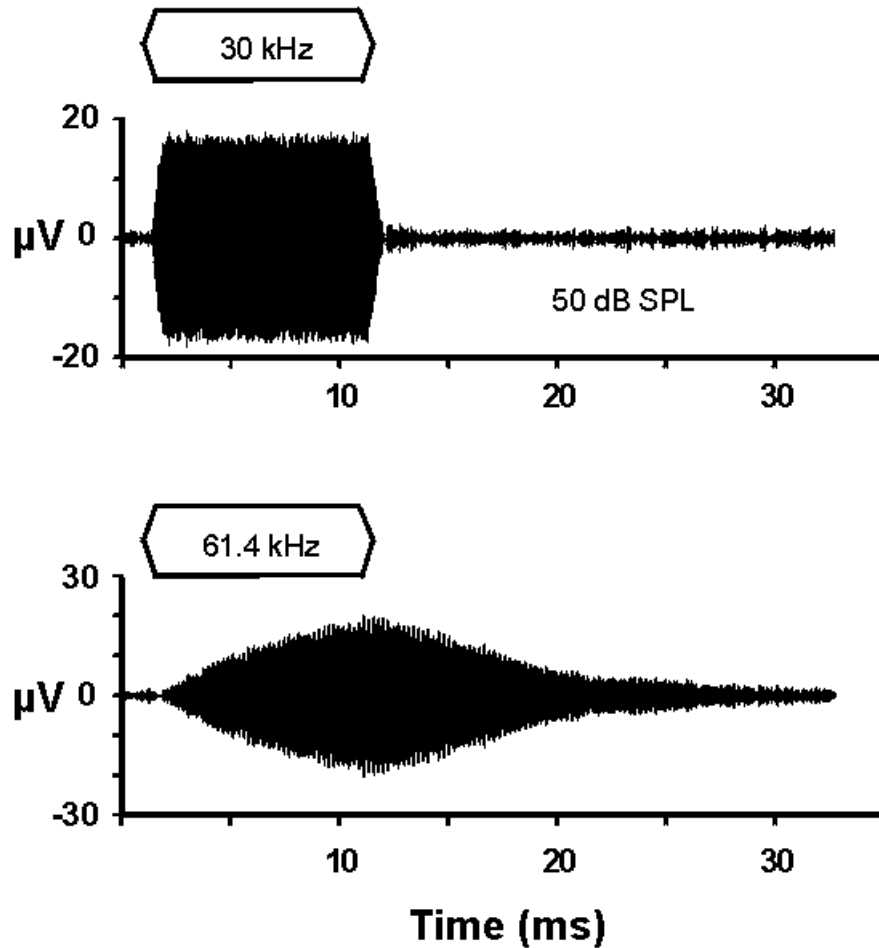
# Ultrastruktur der OHC



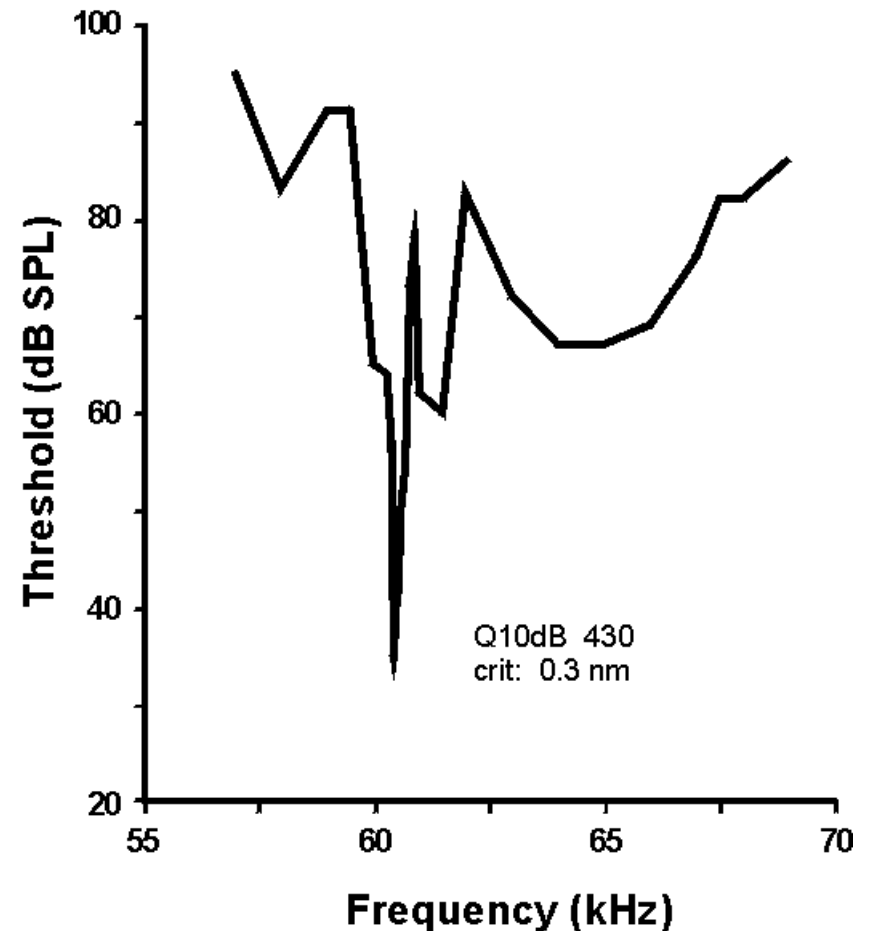


# Scharf abgestimmte mechanische Resonanz im Innenohr

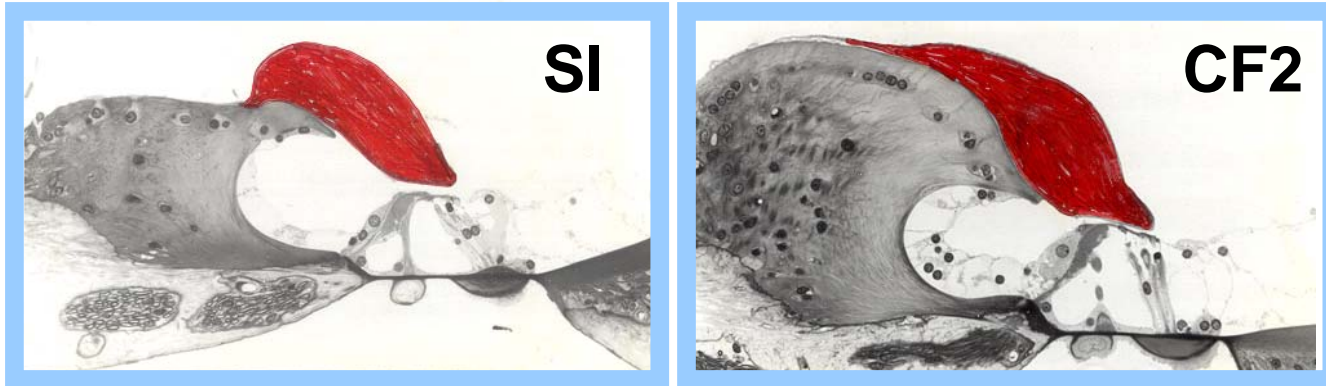
*Cochlear microphonic*



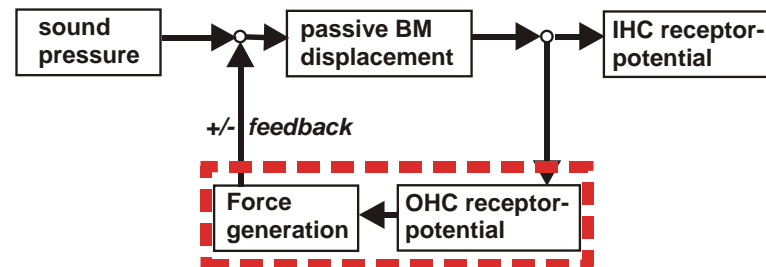
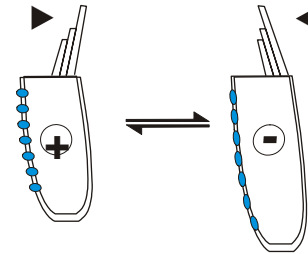
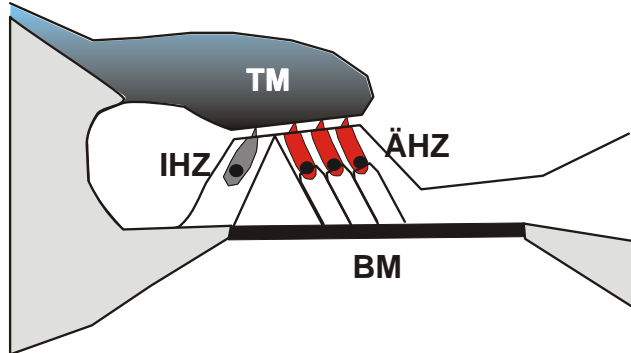
*Basilar membrane tuning*



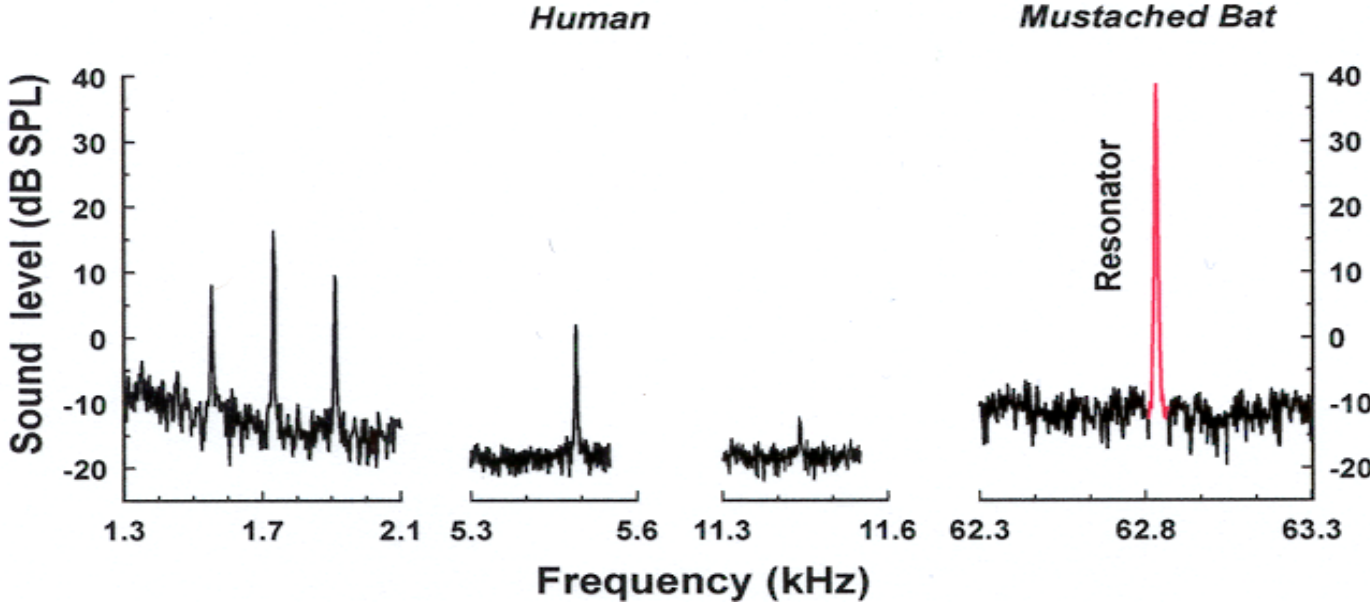
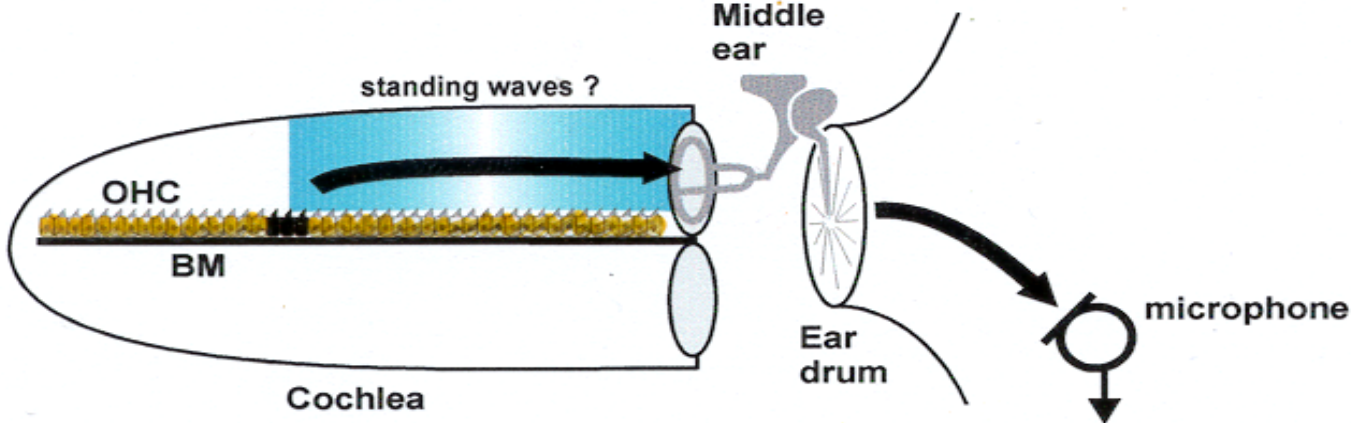
# Deckmembran Resonator



+ Krafterzeugung durch äußere Haarzellen

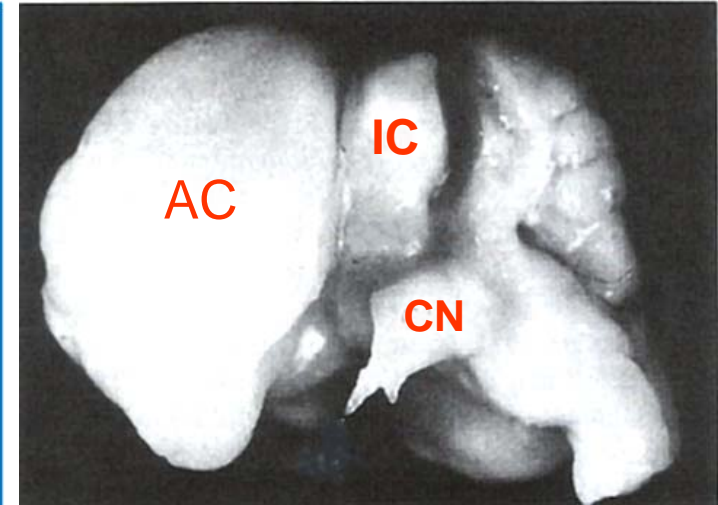
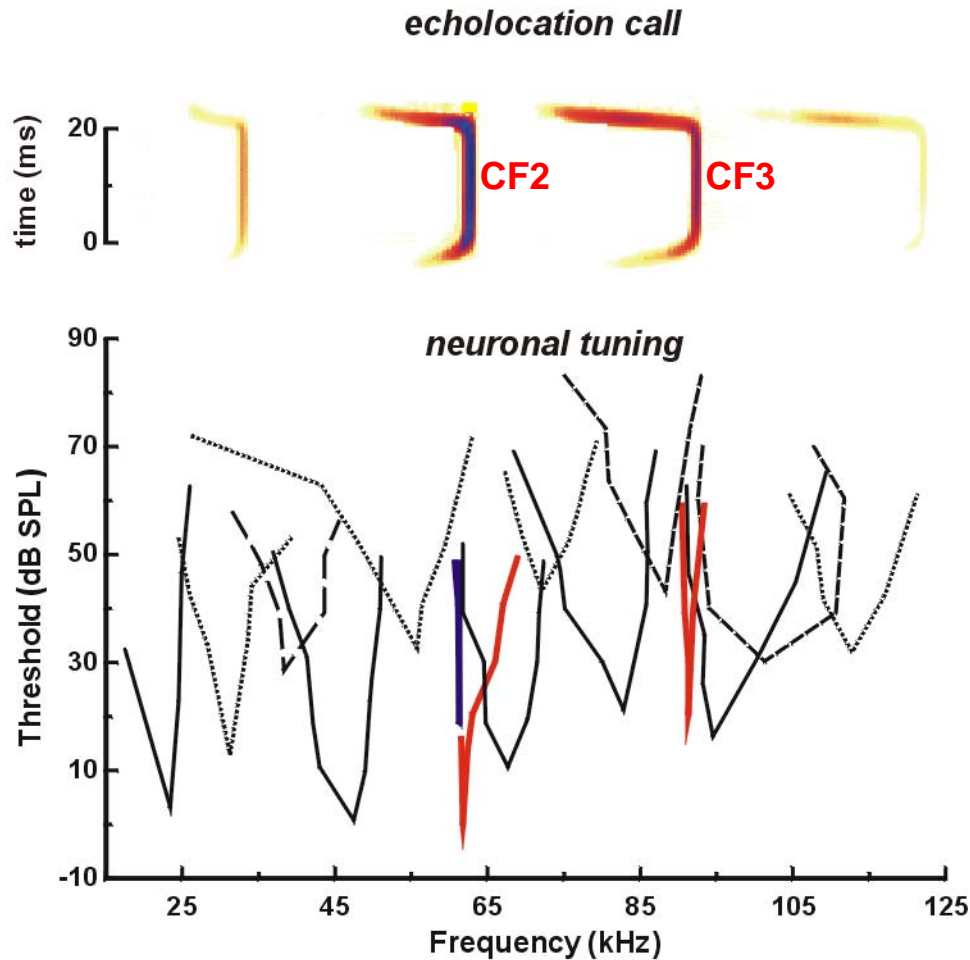


# Cochleärer OHC-Verstärker + Resonator = riesige otoakustische Emissionen ?



# *Neuronale Verrechnung*

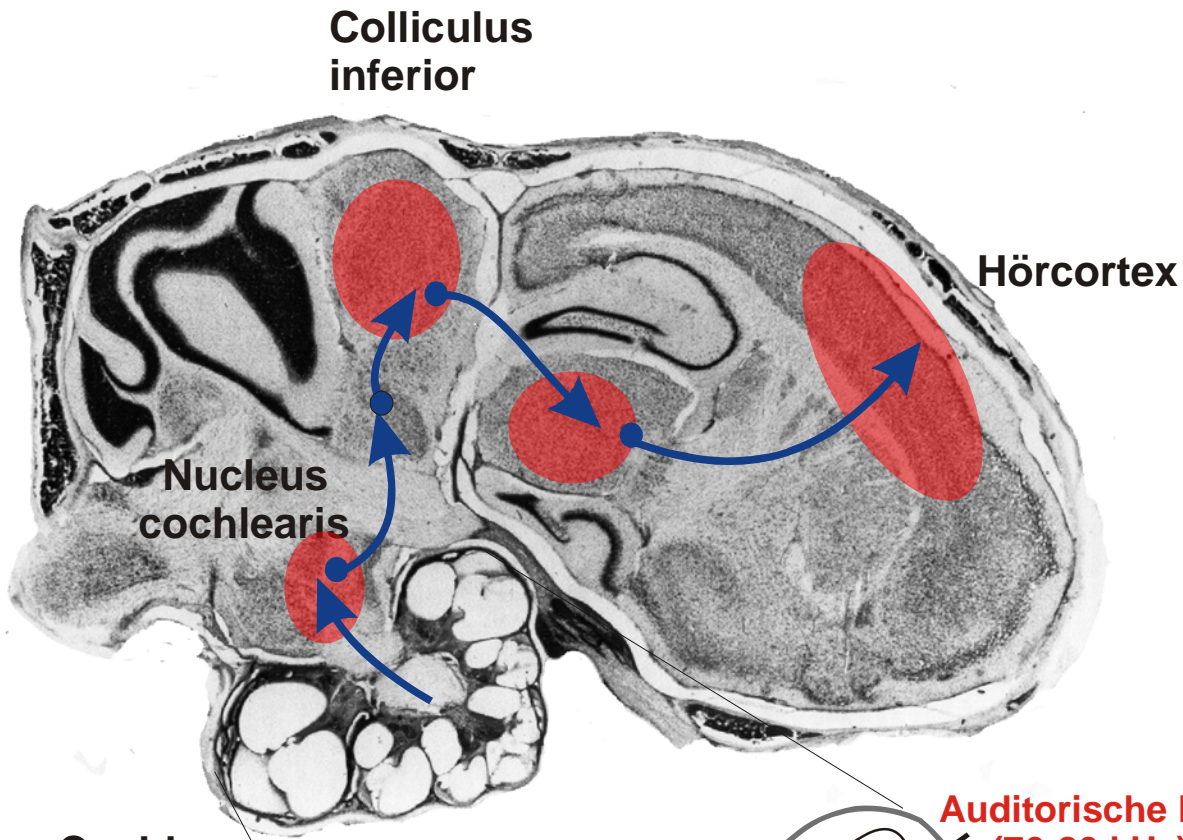
# Specialized central auditory processing



**Enhanced tuning to CF2 and CF3**

**Q10dB values up to 400 at CF2**  
(Q10dB = 5-20 in normal mammals)

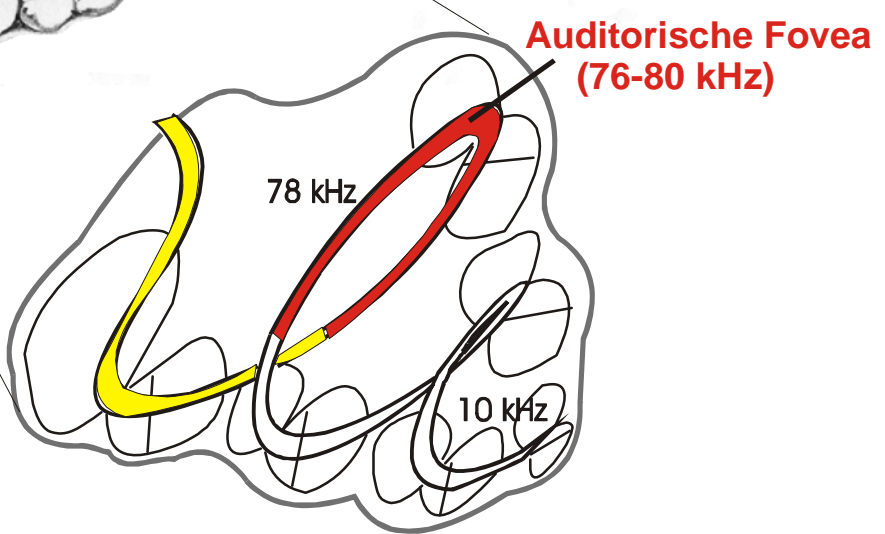




overrepresentation of CF2-frequency in all auditory areas

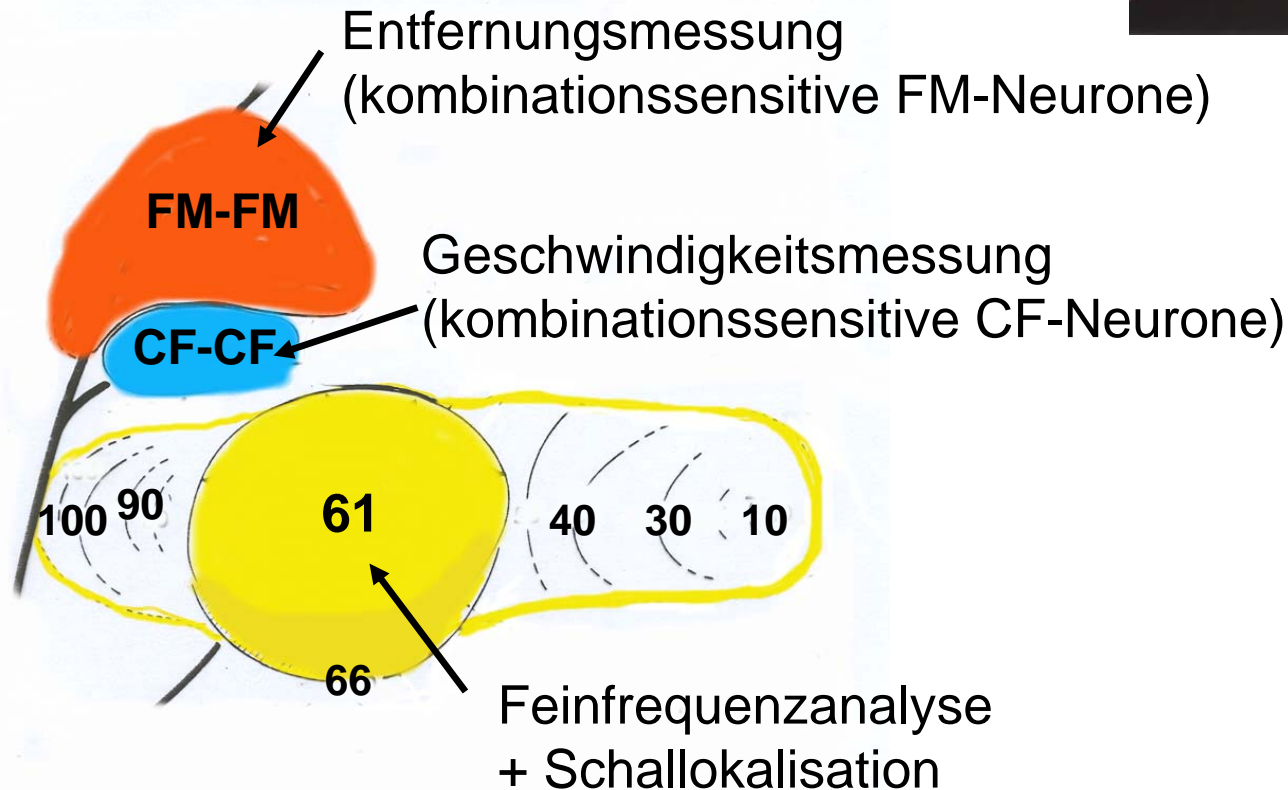
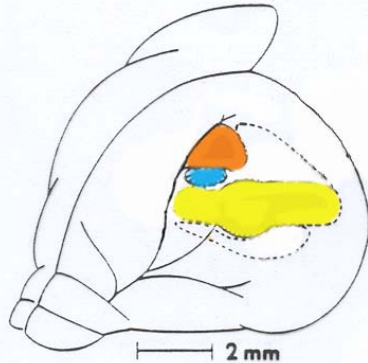
Hypertrophy of auditory centers

Computational cortical maps

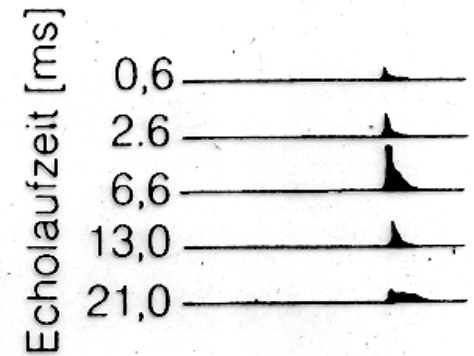
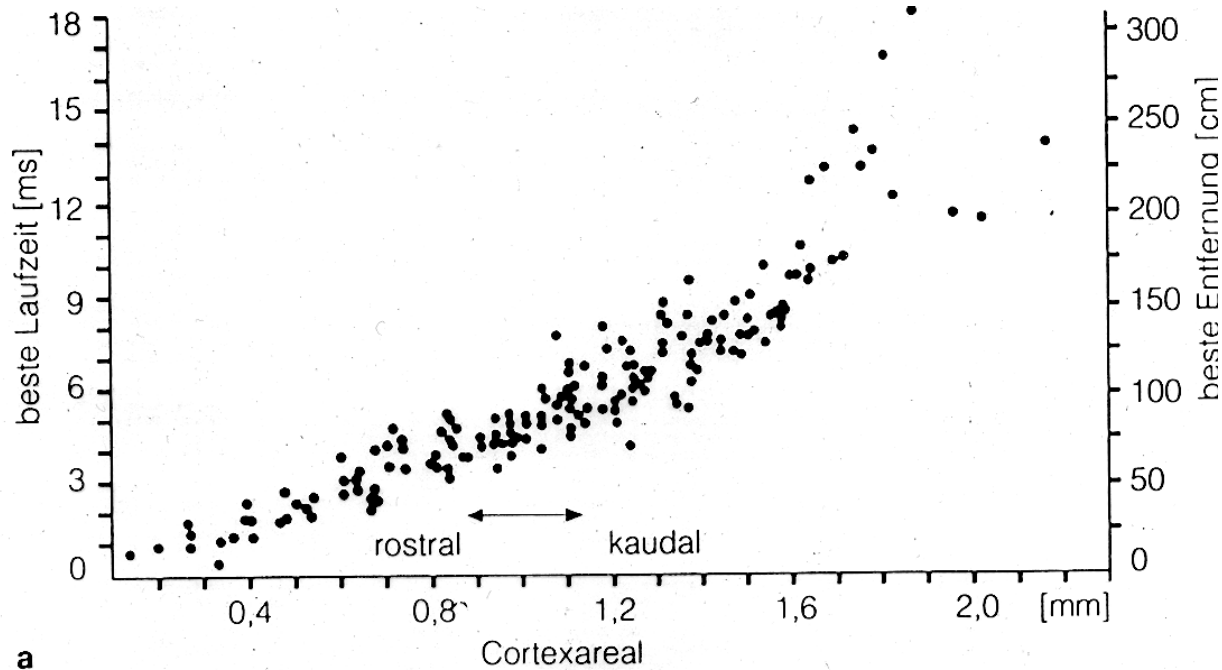
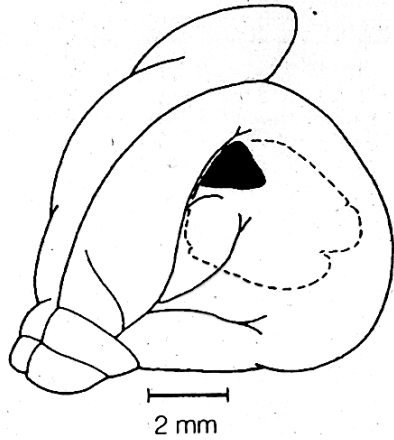


*Rhinolophus rouxi*

# Auditorischer Cortex der Schnurrbartfledermaus



# Chronotopie im FM-FM Cortexareal



# Verbesserung der zeitlichen Präzision neuronaler Antworten auf den Ortungsruf durch noradrenerge Modulation

