



© Merlin Tuttle

EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN



CIN

Werner Reichardt

Centre for Integrative
Neuroscience

Fledermäuse – Sehen mit den Ohren

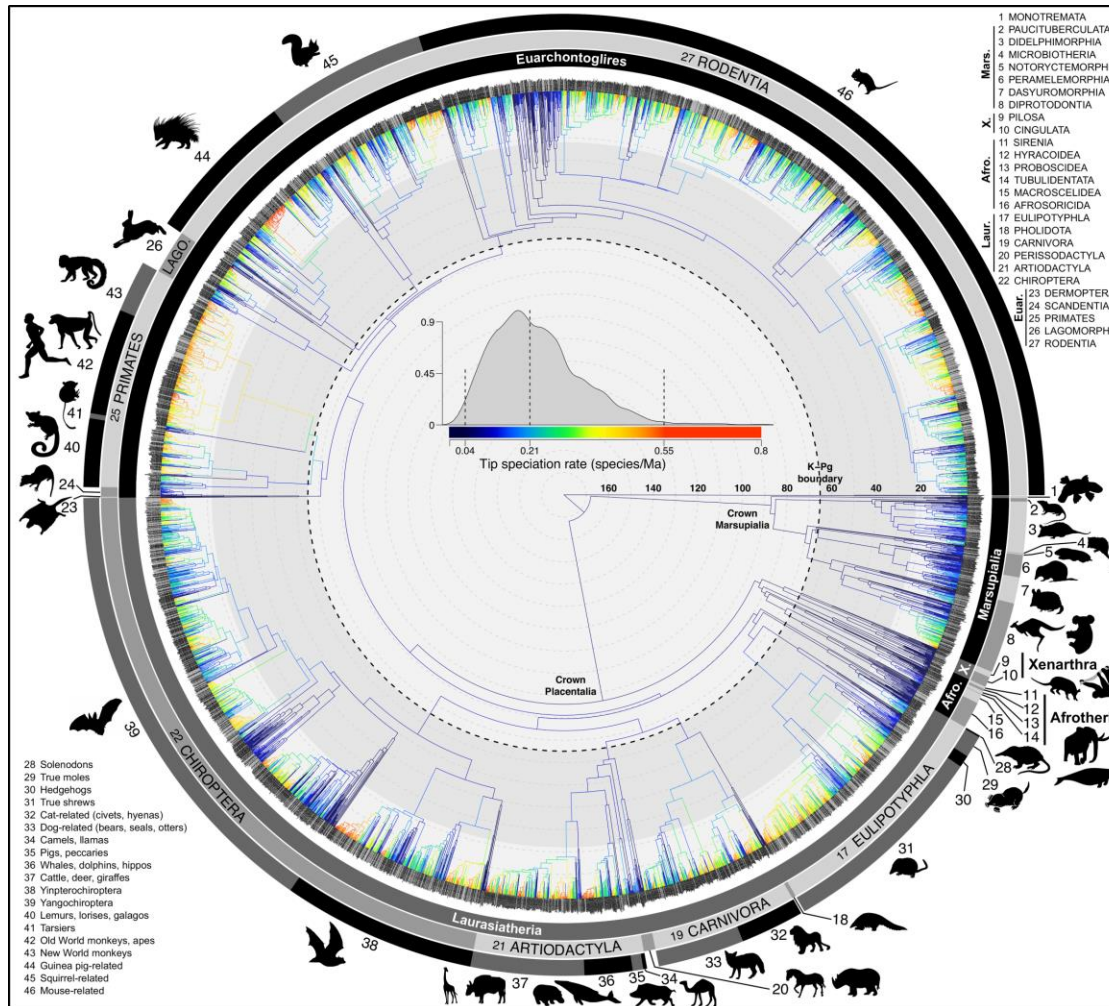
Michael Walter

Tierphysiologie
Institut für Neurobiologie

Bats locate their
food using sound



Was sind Fledermäuse?



Ordnung:
Chiroptera (Fledertiere)

Aktiv fliegende Säugetiere

~1300 Arten
(Deutschland: 25)

davon
> 1000 Echoortung

Weltweites Vorkommen

Große ökologische
Diversität

- Nahrung
- Habitat

Chiroptera



Noack's roundleaf bat *Hipposideros ruber*, Kenya.



Egyptian tomb bat *Taphozous perforatus*, Kenya.



Great fruit-eating bat *Artibeus lituratus*, Belize.



Ethiopian epauletted fruit-bat *Epomophorus labiatus*, Kenya.



Heart-nosed bat *Cardioderma cor*, Kenya.



Andersen's slit-faced bat *Nycteris aurita*, Kenya.



Black bonneted bat *Eumops auripendulus*, Belize.



African trident-nosed bat *Triaenops ajer*, Kenya.

Eklöf & Rydell: Bats – In a World of Echoes

Ökologie

Trachops cirrhosus



Desmodus rotundus



Noctilio leporinus



Leptonycteris curasoae



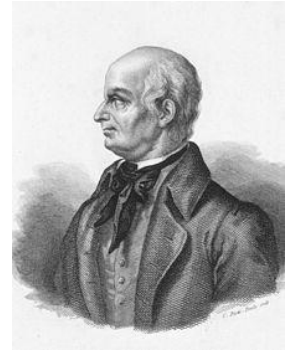
Corynorhinus townsendii



Rousettus aegyptiacus



Entdeckung der Echoortung



Lazzaro Spallanzani
1729-1799



Louis Jurine
1751-1819

Entdeckung der Echoortung

Wie werden Hindernisse detektiert?

THE SENSORY BASIS OF OBSTACLE AVOIDANCE
BY FLYING BATS

DONALD R. GRIFFIN AND ROBERT GALAMBOS

Biological Laboratories, Harvard University, Cambridge, Massachusetts

- FM emittieren Ultraschalllaute
- FM hören die Reflektionen der Schallwellen
- FM lokalisieren die Quelle der Reflektionen



Donald R. Griffin
1915-2003



Robert Galambos
1914-2010

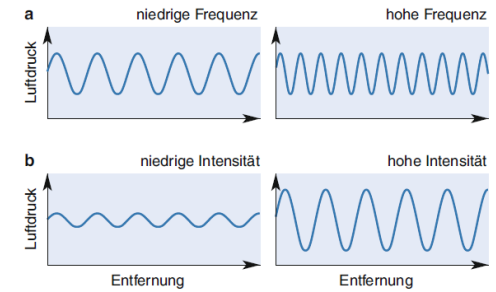
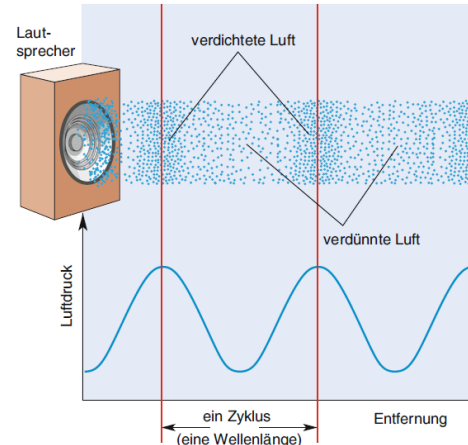
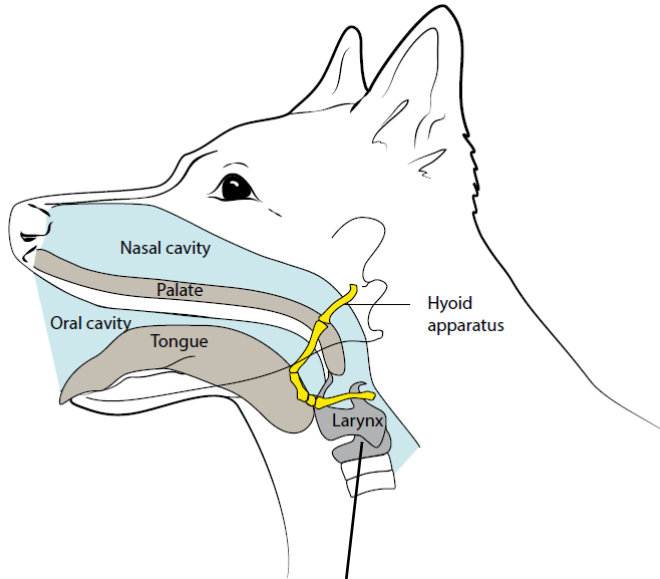


R. Galambos ca. 1941

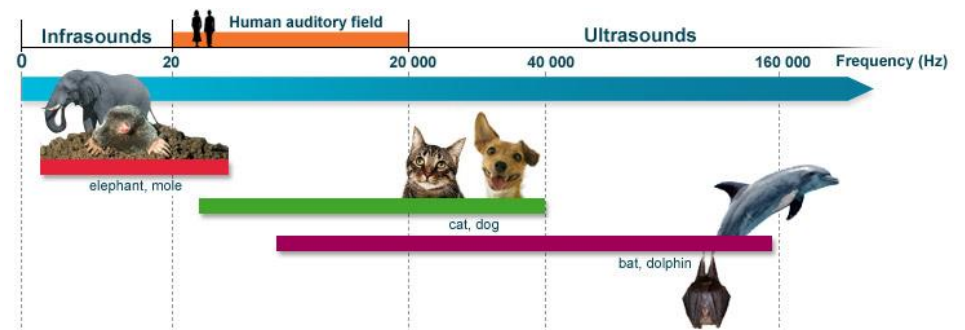
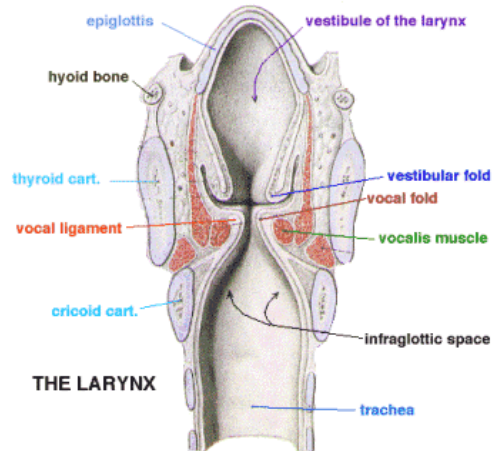


Schall-Produktion

Bear, Connors & Paradiso: Neurowissenschaften



Taylor et al. 2016

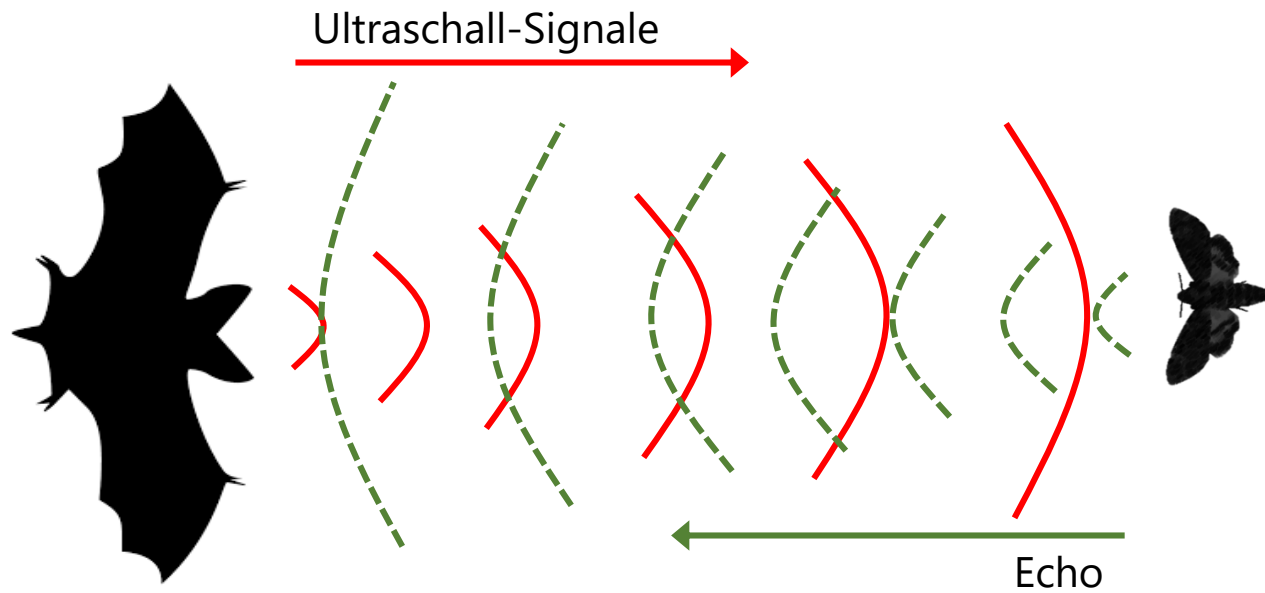


<http://www.simplybehaviour.com>

Echoortung

Form der (Auto-)Kommunikation

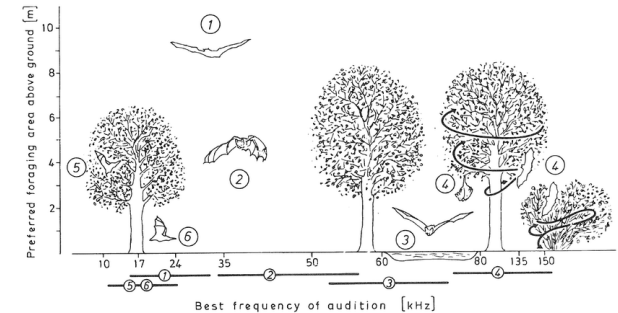
Fledermaus = Sender + Empfänger



Aufgaben der Echoortung

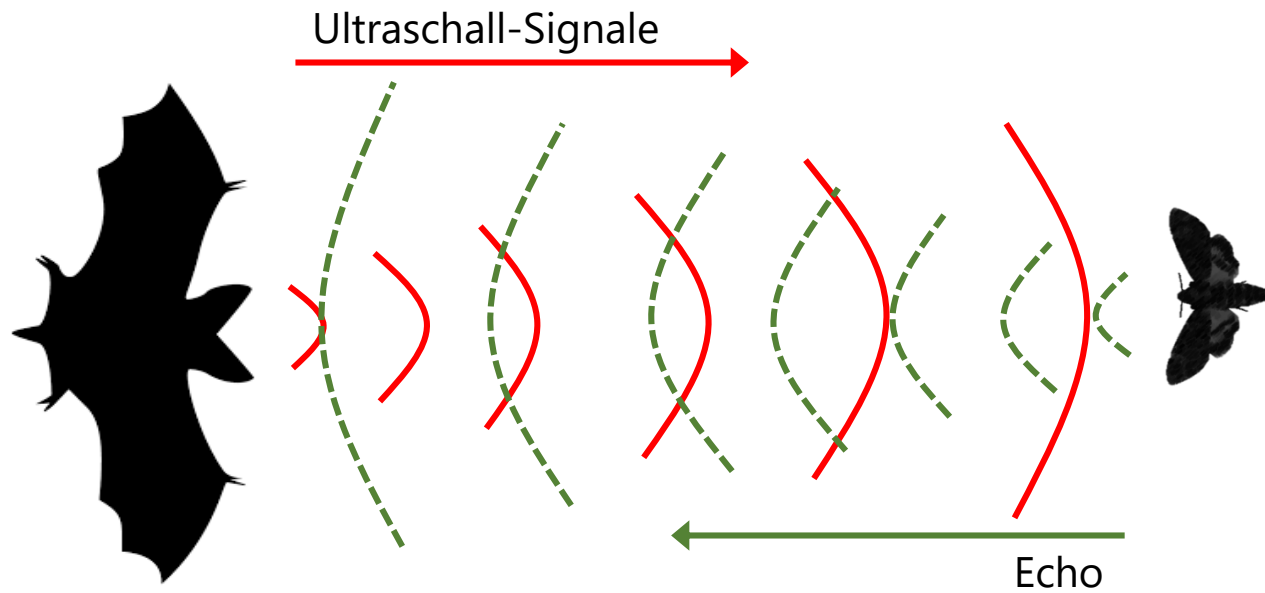
Rachwald & Fuszara 2015

- Wo bin ich?
 - Räumliche Orientierung
- Wie sieht meine Umgebung aus?
 - Habitat Erkennung
- **Wo finde ich etwas zu essen?**
 - **Detektion, Lokalisation und Klassifikation von Futterquellen**



Detektion

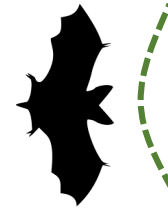
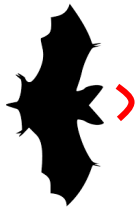
Wahrnehmung der Echos eigener Laute



Lokalisation

Distanz zum Ziel

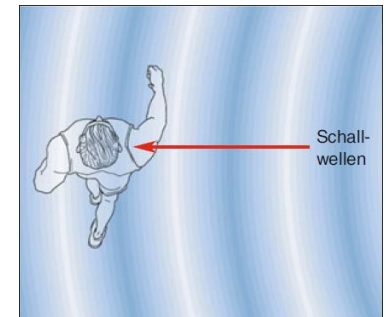
$$c_{\text{Schall}} = 340 \text{ m/s}$$



$$1 \text{ ms} = 17 \text{ cm}$$

Richtung des Ziels

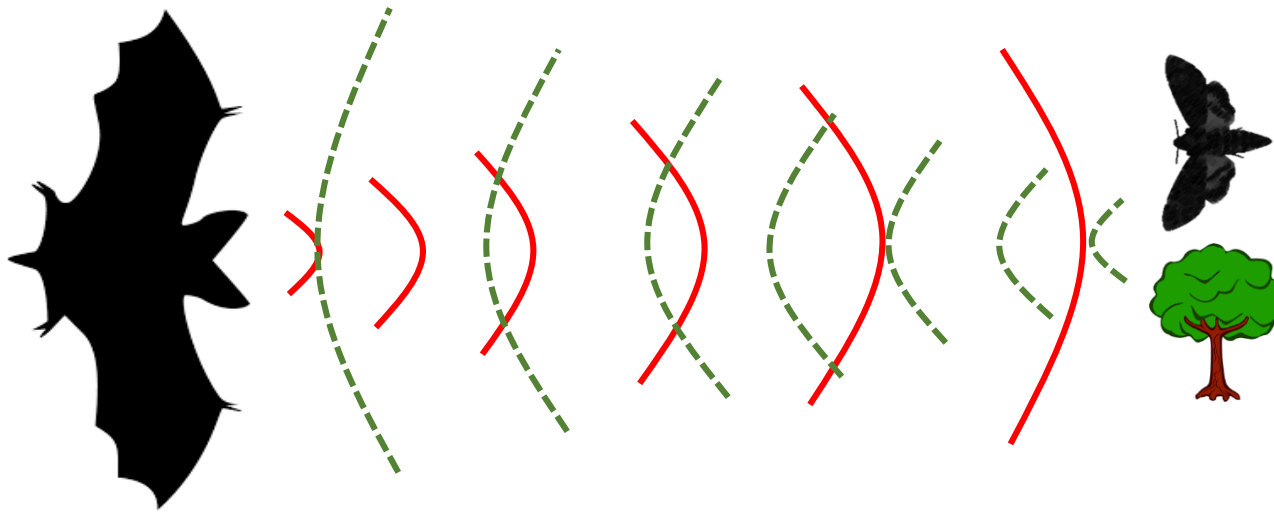
Interaurale Laufzeit- und Intensitätsdifferenzen



Klassifikation

Eigenschaften des Ziels sind im Echo codiert

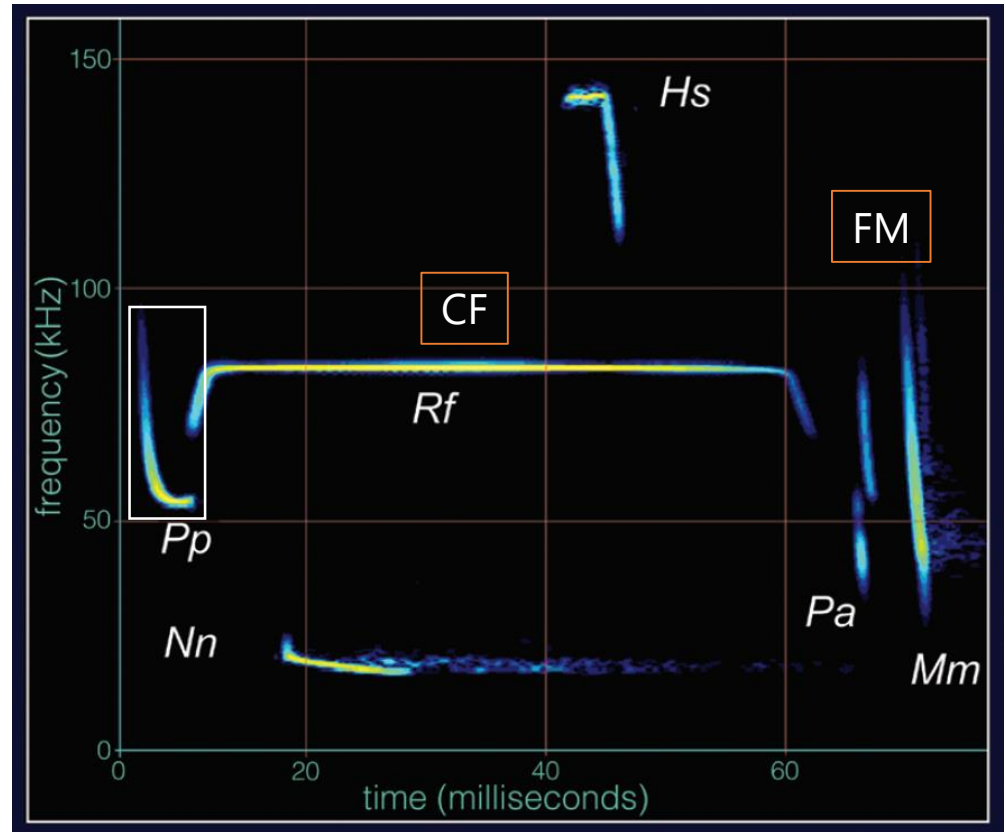
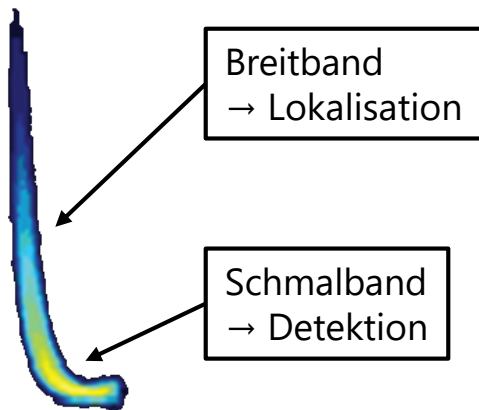
- Größe
- Form
- Material, Textur



Aufnahme und Darstellung

Jones 2005

Mikrofon
↓
A/D-Wandler
↓
Computer
↓
Spektrogramm



Auf Insekten-Suche

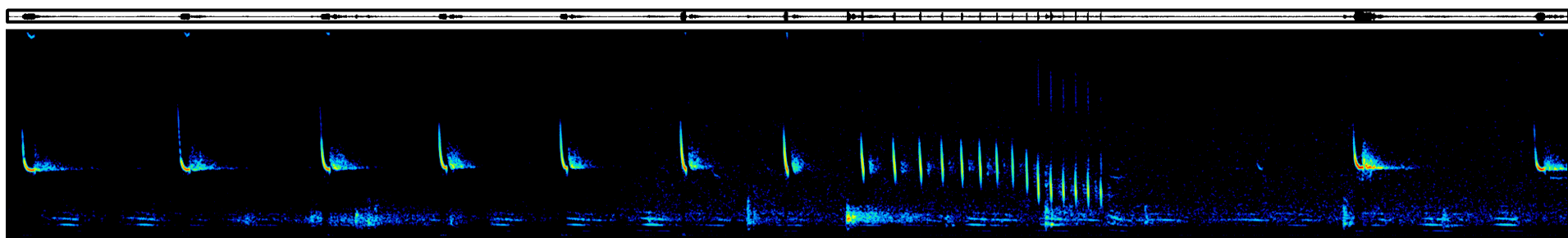


Zwergfledermaus

Search

Approach

Buzz



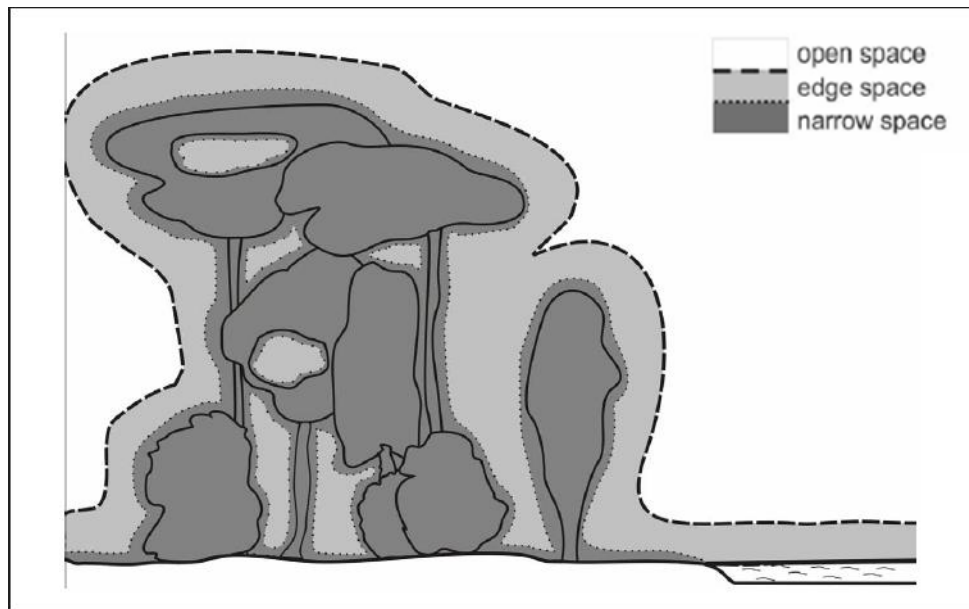
Fang



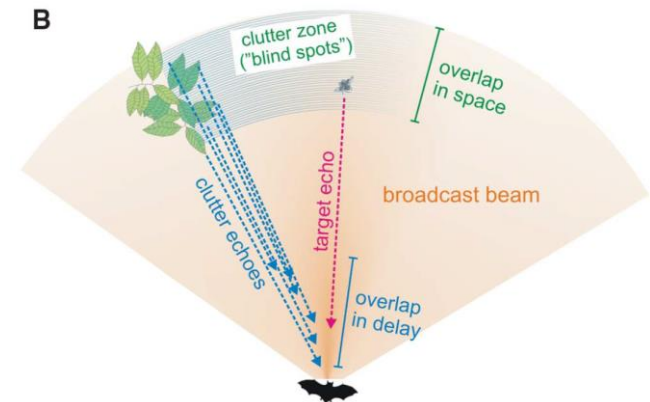
Habitat

“Foraging habitat is determined by the resources and conditions which a species encounters when searching for food.”

(Krausman 1999)



Denzinger & Schnitzler 2013



Bates et al. 2011

Fledermaus-Gilden

= Gruppe von Arten die unter vergleichbaren ökologischen Bedingungen leben

Open space

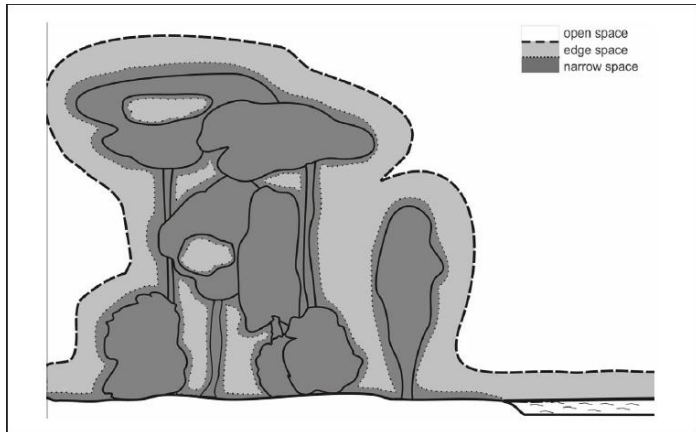
- Aerial foragers

Edge space

- Aerial foragers
- Trawling foragers

Narrow space

- Flutter Detecting foragers
- Passive Gleaning foragers
- Active Gleaning foragers
- Passive/Active Gleaning foragers



Einteilung anhand des
Abstands zum Hintergrund

Open Space

Open space

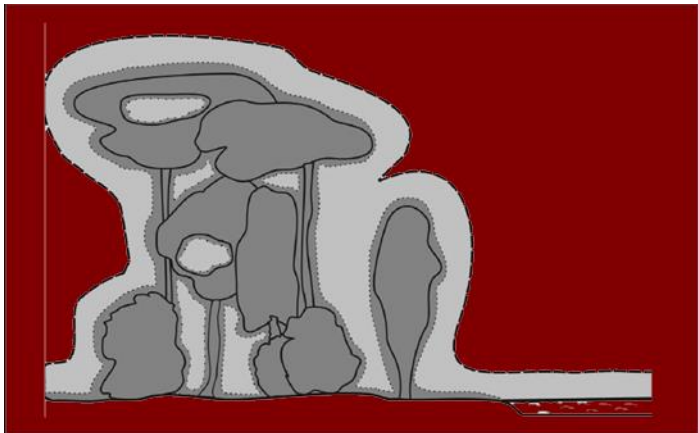
- Aerial foragers

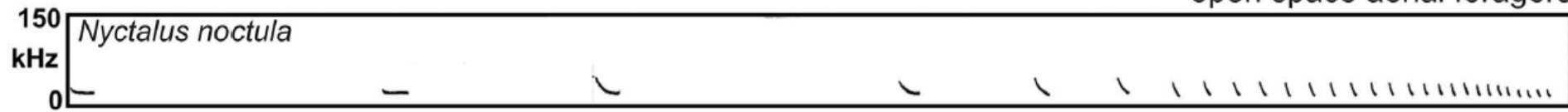
Edge space

- Aerial foragers
- Trawling foragers

Narrow space

- Flutter Detecting foragers
- Passive Gleaning foragers
- Active Gleaning foragers
- Passive/Active Gleaning foragers





Großer Abendsegler

Beute:

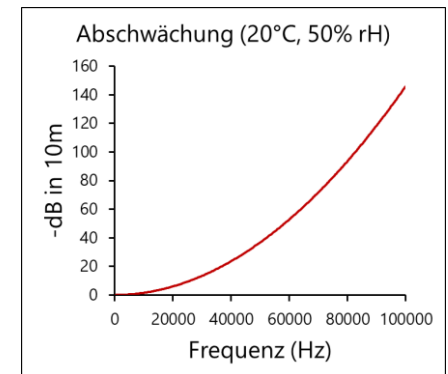
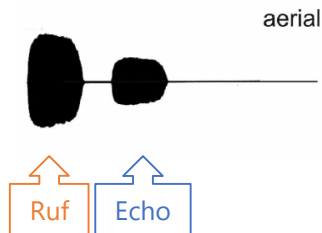
- Insekten im offenen Luftraum

Problem:

- Geringe Beutedichte

Signale:

- Schmalbandig und lang
- Hohe Lautstärke und tiefe Frequenz



→ **Hohe Detektionsreichweite (3–10 Meter)**

Edge Space

Open space

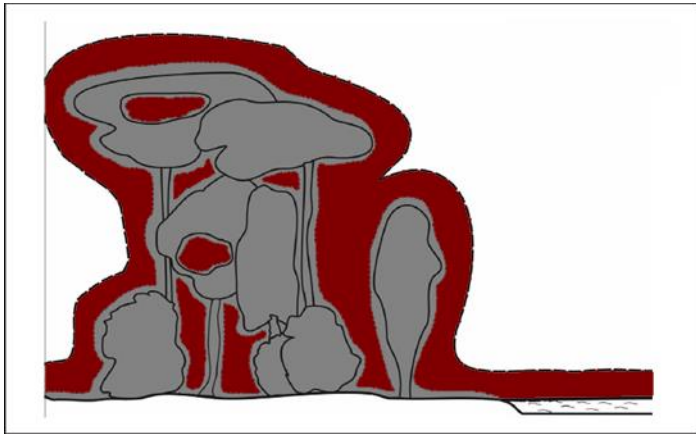
- Aerial foragers

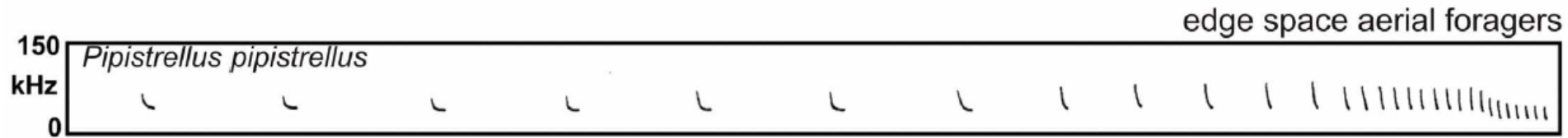
Edge space

- Aerial foragers
- Trawling foragers

Narrow space

- Flutter Detecting foragers
- Passive Gleaning foragers
- Active Gleaning foragers
- Passive/Active Gleaning foragers





Zwergfledermaus

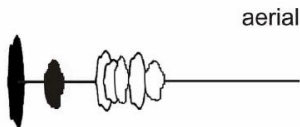
Beute:

- Insekten vor der Vegetation



Problem:

- Vegetation im Hintergrund erzeugt ebenfalls Echos

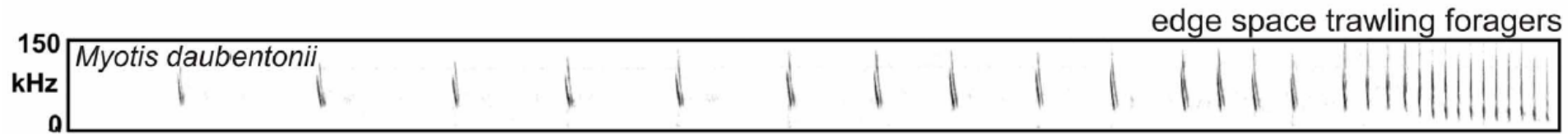


Signale:

- Breitbandige und schmalbandige Anteile
- Mittlere Ruflänge und mittlere Frequenz

→ **Breitband-FM: Lokalisation und Klassifikation**

→ **Schmalband-FM: Detektion (1,5–7 Meter)**



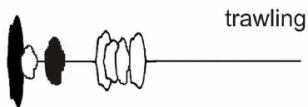
Wasserfledermaus

Beute:

- Insekten auf/über der Wasseroberfläche & Fische

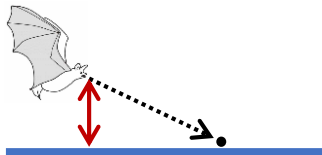
Problem:

- Wasser/Ufer im Hintergrund erzeugt ebenfalls Echos



Signale:

- Breitbandige und schmalbandige Anteile
- Mittlere Ruflänge und mittlere Frequenz



- **Breitband-FM: Lokalisation und Klassifikation**
- **Schmalband-FM: Detektion (1,5–7 Meter)**

Noctilio leporinus



Narrow Space

Open space

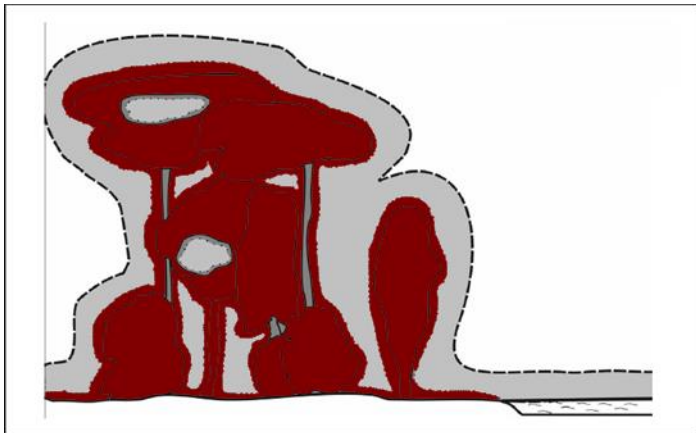
- Aerial foragers

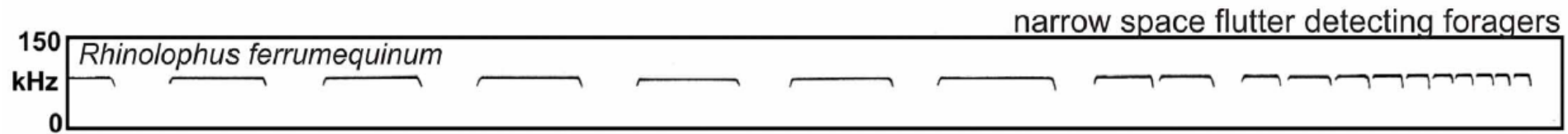
Edge space

- Aerial foragers
- Trawling foragers

Narrow space

- Flutter Detecting foragers
- Passive Gleaning foragers
- Active Gleaning foragers
- Passive/Active Gleaning foragers





Große Hufeisennase

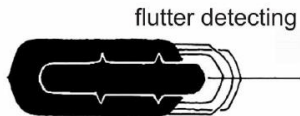
Beute:

- Flügelschlagende Insekten



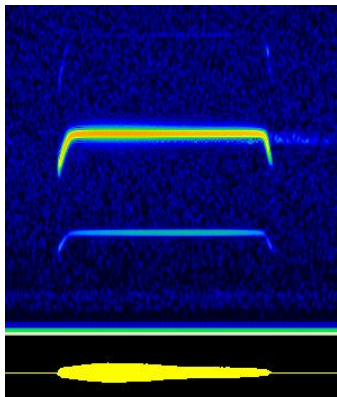
Problem:

- Beute-Echo direkt vor dem Hintergrund-Echo



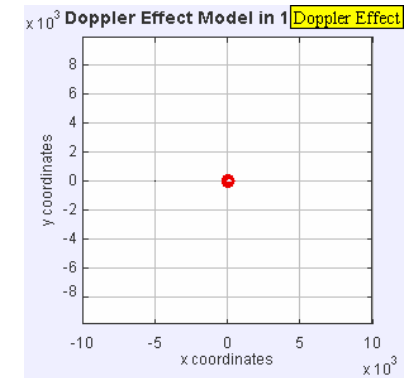
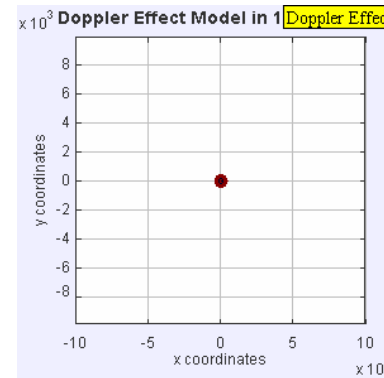
Signale:

- Extrem schmalbandige, lange CF-Laute
- Artspezifische CF-Frequenz

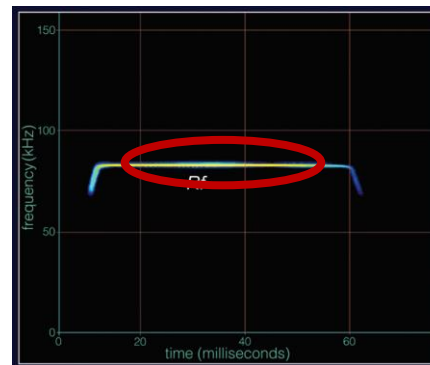
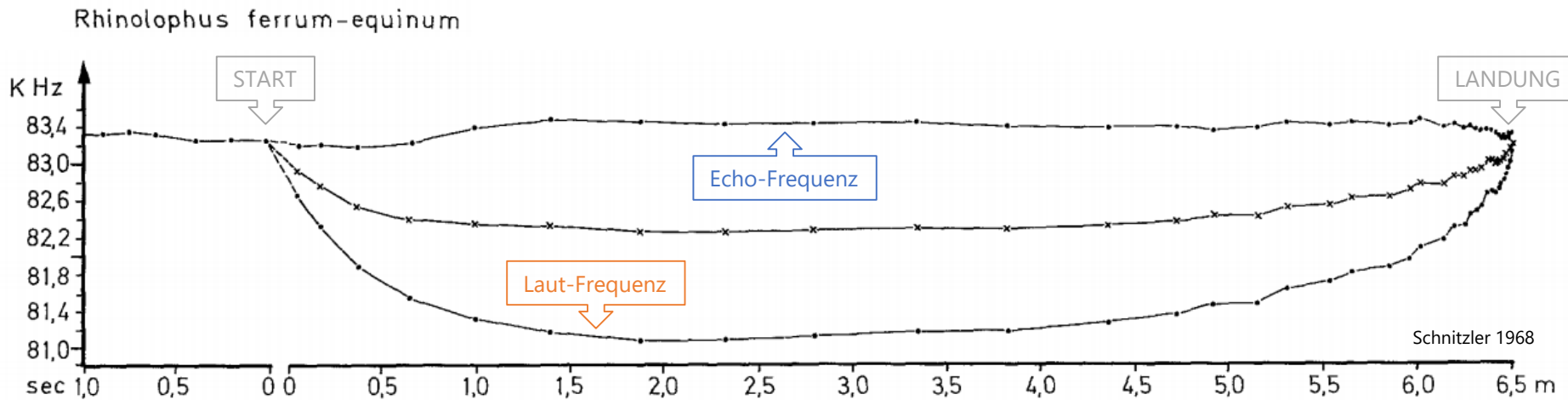


- **Flügelschlag des Insekts erzeugt Echo-Modulation**
- **Modulation verrät Ort und Art der Beute**

Doppler-Effekt

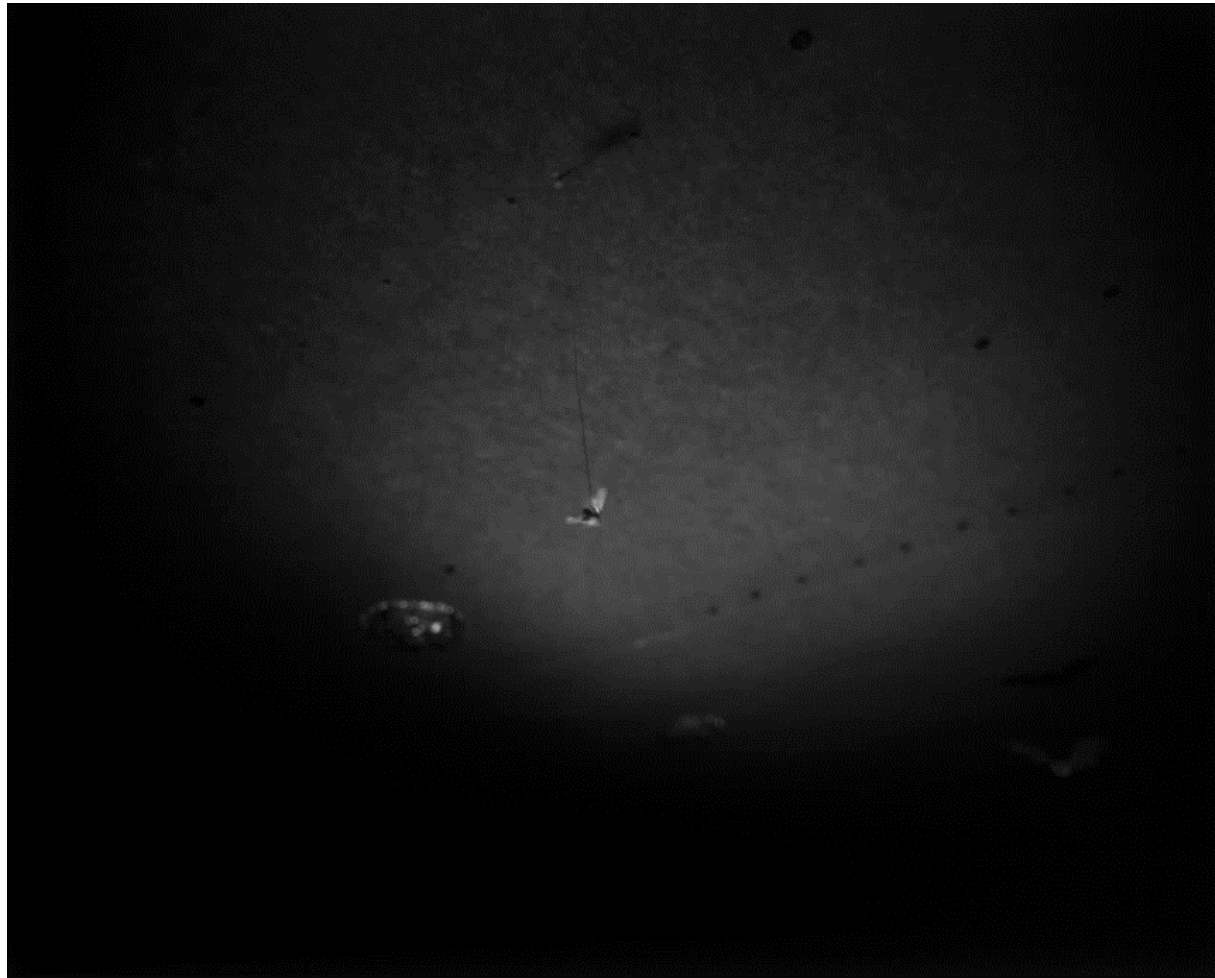


http://iwant2study.org/lookangejss/04waves_14sound/ejs/ejs_src_dopplerxywee01.html

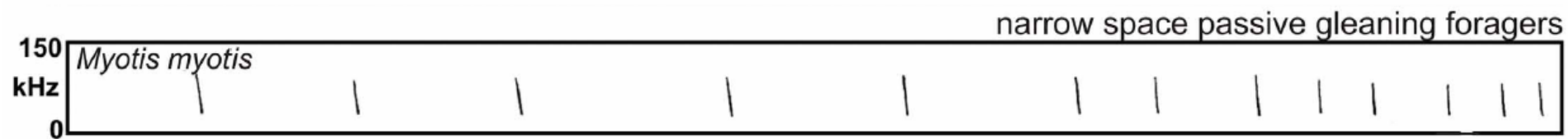


Kompensierung des Doppler-Effekts durch Änderung der Lautfrequenz

Rhinolophus ferrumequinum



23.06.2009 23:12:40 0001 -3266.3[ms] 1280x1024, 500 Hz, 1994 μ s, *1, MotionBLITZ EoSens mini #00104, V1.10.4



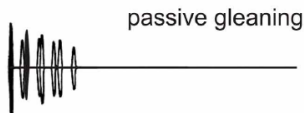
Großes Mausohr

Beute:

- Insekten auf dem Boden/auf Blättern

Problem:

- Beute-Echo „versteckt“ im Hintergrund-Echo



Signale:

- Extrem breitbandige, sehr kurze Laute
- Dienen hauptsächlich der räumlichen Orientierung

→ **Fledermäuse hören auf von der Beute verursachte Geräusche**

Myotis myotis



narrow space passive/active gleaning foragers



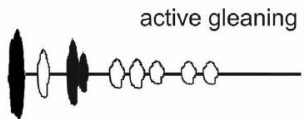
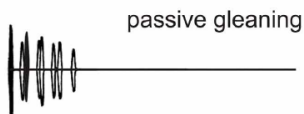
Brillenblattnase

Beute:

- Früchte und Blütennektar

Problem:

- Frucht/Blüte ist Teil des Hintergrunds



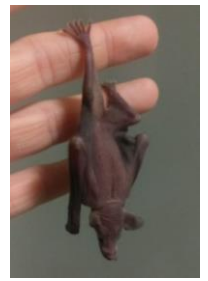
Signale:

- Breitbandig und kurz
- Niedrige Lautstärke und kein Buzz

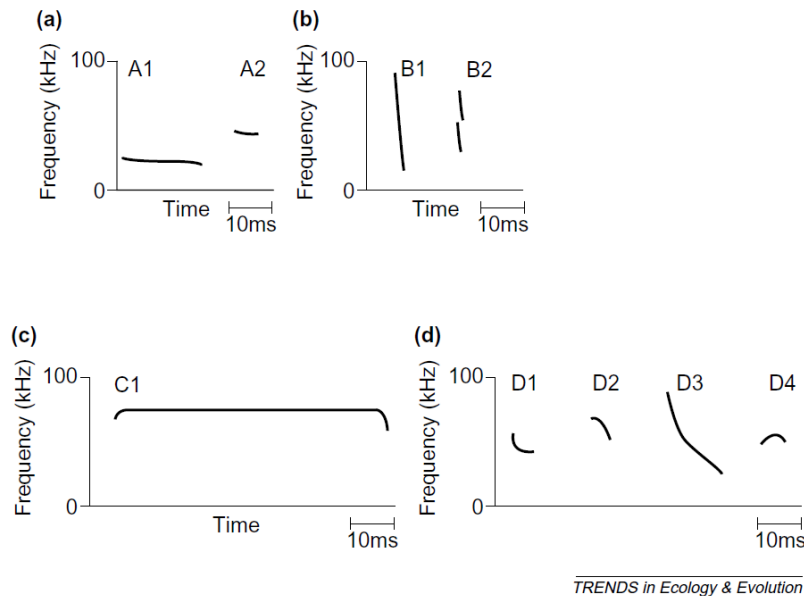
→ **Ungefähre Lokalisation: Geruch (passiv)**

→ **Genaue Lokalisation: Echoortung (aktiv)**

Leptonycteris yerbabuenae



Call design



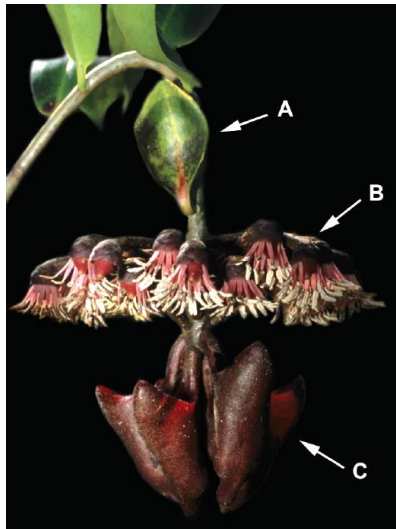
Schnitzler et al. 2003

- Echoortungs-Laute sind ein Beispiel für ‚good design‘ der Evolution durch natürliche Selektion
- Lautparameter werden durch die ökologische Nische bestimmt
- Beispiel für konvergente Evolution: Design der Echoortungs-Laute wird beeinflusst durch Ortungsaufgabe (Jones & Holderied 2007)

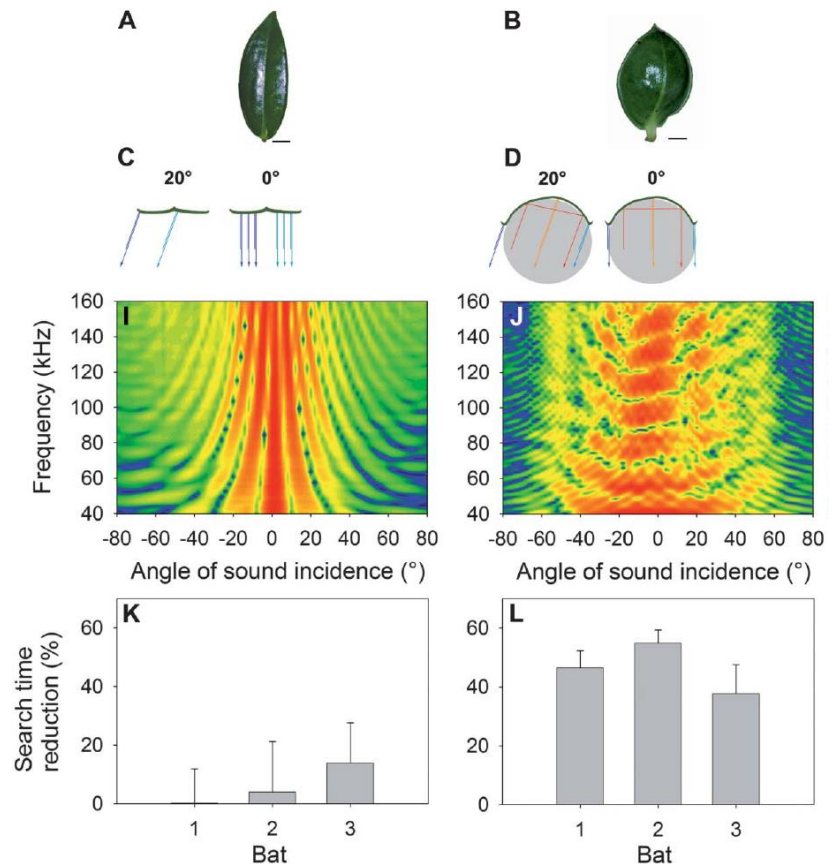
Fledermäuse anlocken

- Spezielle Blätter fungieren als Echo-akustisches Signal
- Erzeugen eine starke, multi-direktionale Echosignatur
- Fledermäuse nutzen diese um Futterpflanzen schneller zu finden

SCIENCE VOL 333 29 JULY 2011
**Floral Acoustics: Conspicuous
 Echoes of a Dish-Shaped Leaf Attract
 Bat Pollinators**
 Ralph Simon,^{1,*} Marc W. Holderied,² Corinna U. Koch,³ Otto von Helversen^{1†}



Marcgravia evenia



Fledermäuse abwehren

- Tigermotten produzieren Ultraschall-Abwehrlaute während des Approach der Fledermaus
- Diese Laute verhindern eine exakte Lokalisation der Beute

Bertholdia trigona

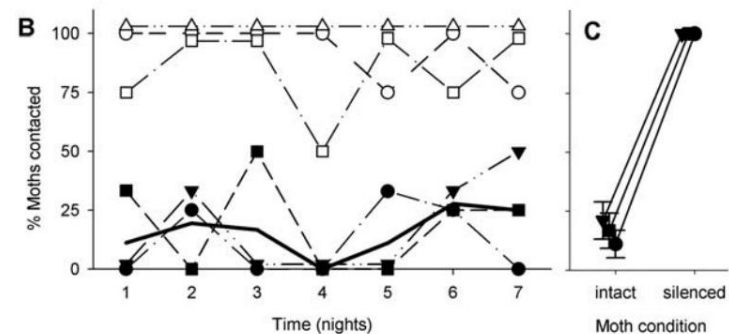
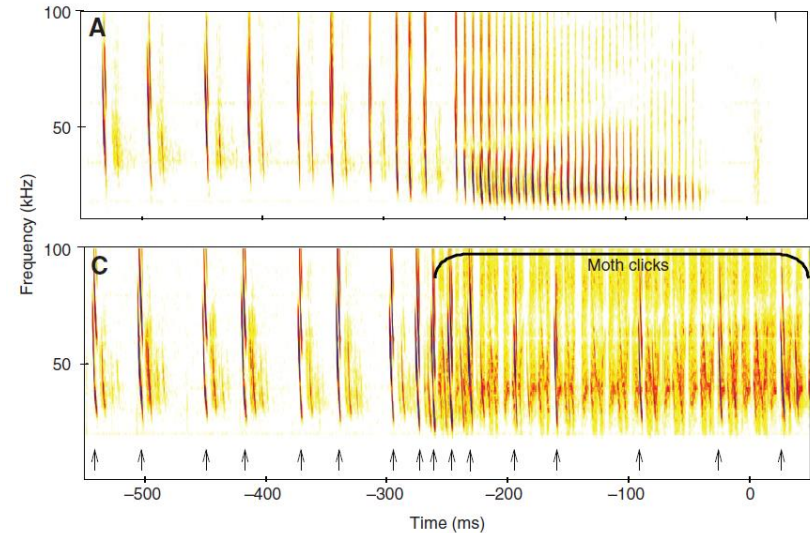


Eptesicus fuscus

SCIENCE VOL 325 17 JULY 2009

Tiger Moth Jams Bat Sonar

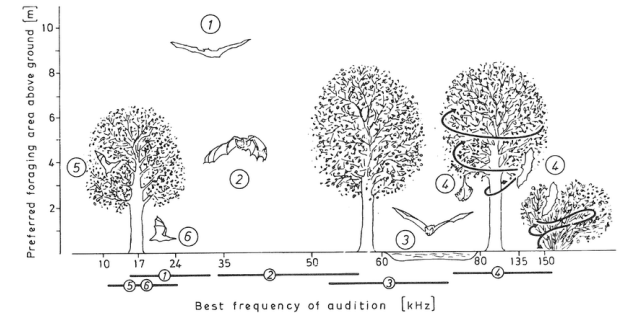
Aaron J. Corcoran,^{1*} Jesse R. Barber,² William E. Conner^{1*}



Aufgaben der Echoortung

Rachwald & Fuszara 2015

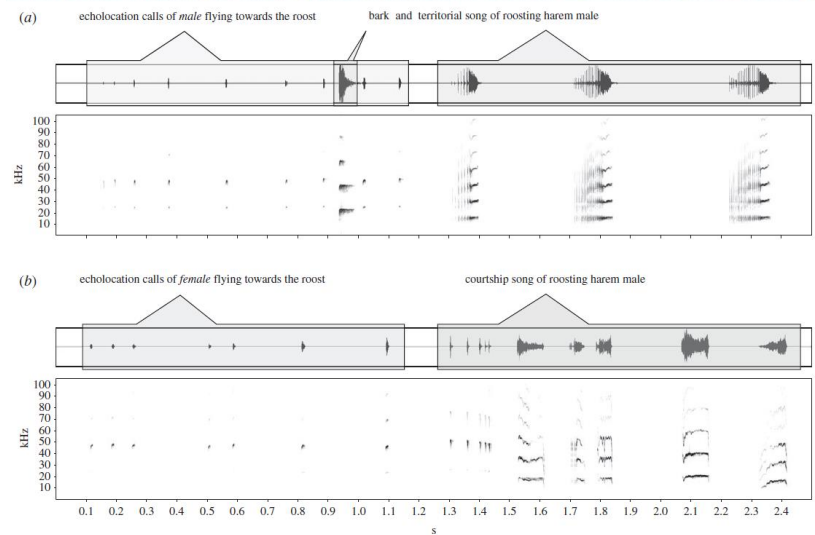
- Wo bin ich?
 - Räumliche Orientierung
- Wie sieht meine Umgebung aus?
 - Habitat Erkennung
- **Wo finde ich etwas zu essen?**
 - **Detektion, Lokalisation und Klassifikation von Futterquellen**
- Kommunikation



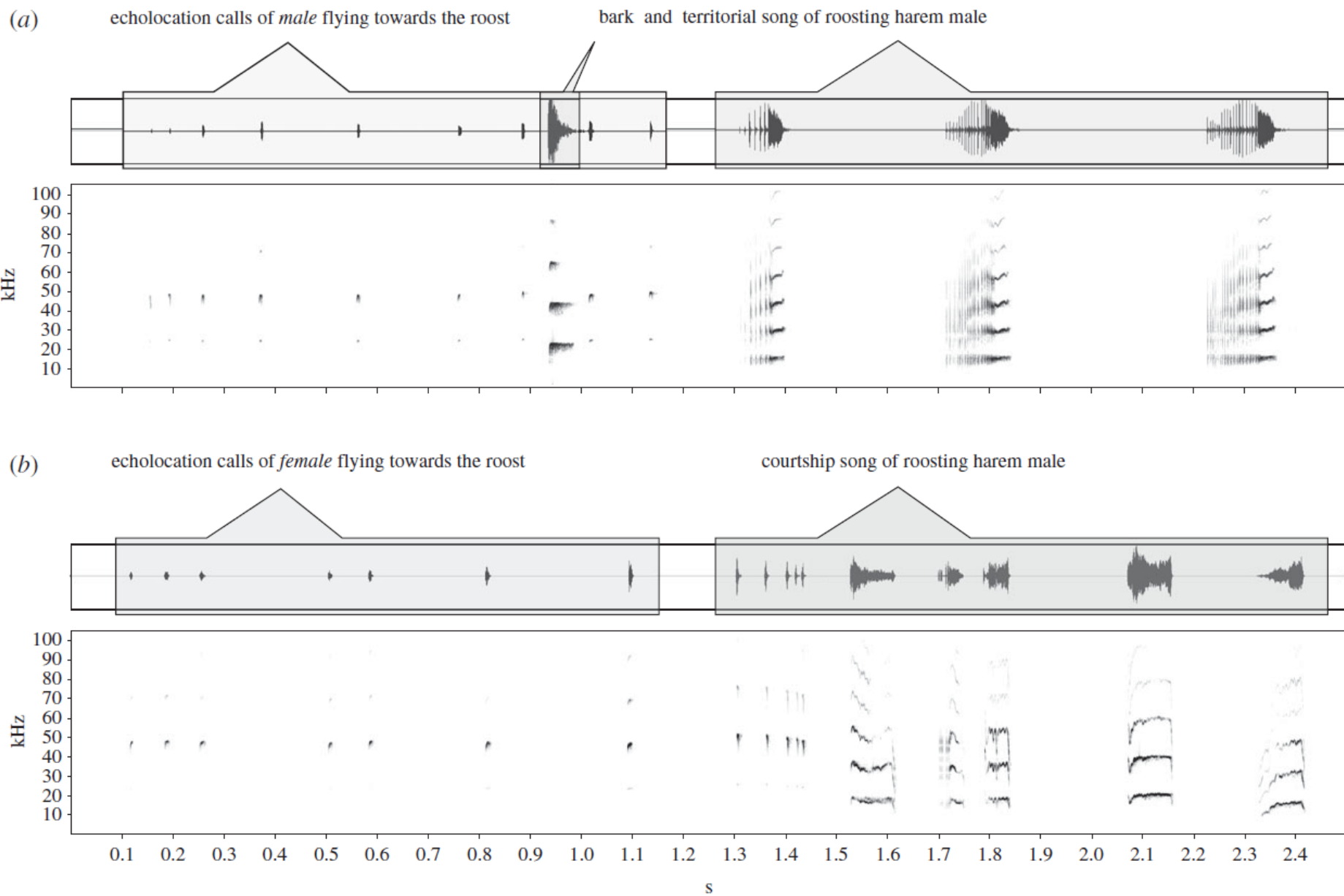
Echoortung zur sozialen Kommunikation



© Mirjam Knörnschild



Große Sackflügelfledermaus

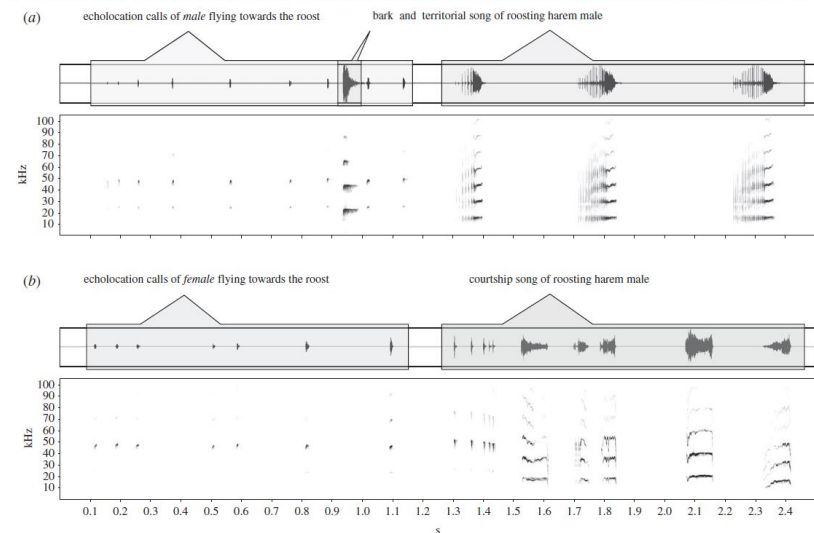


Echoortung zur sozialen Kommunikation

- Männchen der Großen Sackflügelfledermaus reagieren auf Echoortungs-Laute
 - von anderen Männchen mit aggressivem Territorialgesang
 - von Weibchen mit Balzgesang
- Geschlecht im Echoortungs-Laut codiert



Große Sackflügelfledermaus

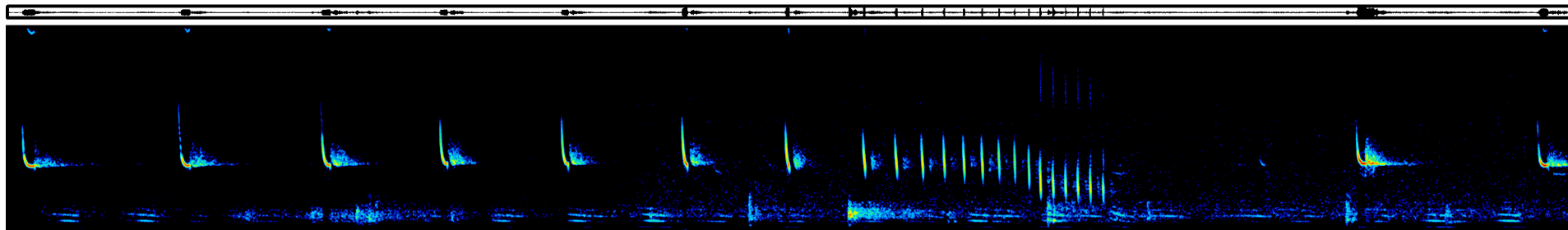


Kommunikation durch Echoortung

– Echoortungs-Laute können zusätzliche Informationen enthalten

- Geschlecht
- Alter
- Größe
- Zugehörigkeit zu sozialer Gruppe
- Individuum

– *Eavesdropping*



Buzz

Fragen?

