

# Echoortung bei der Fledermaus

Abstract

Fledermäuse besitzen ein ausgesprochen hochentwickeltes Biosonar-System im Ultraschallbereich. Dieses ermöglicht es ihnen, bei Nacht ein detailliertes Bild ihrer Umgebung zu bekommen. Erst dadurch wurde eine Spezialisierung auf den Beutefang bei Nacht möglich.

Es sollen hier einige im Vortrag dargestellte Fakten festgehalten werden, die speziell für die *Schnurrbart-Fledermaus* gelten.

## Peiltöne der Echoortung

- ♦ „Constant frequency“ (CF): Frequenz im Bereich von 20kHz bis 120kHz wird über längeren Zeitraum konstant abgestrahlt.
- ♦ „Frequency modulated“ (FM): Abgestrahlte Frequenz überstreicht gewissen Bereich, oft linear abfallende Frequenz.

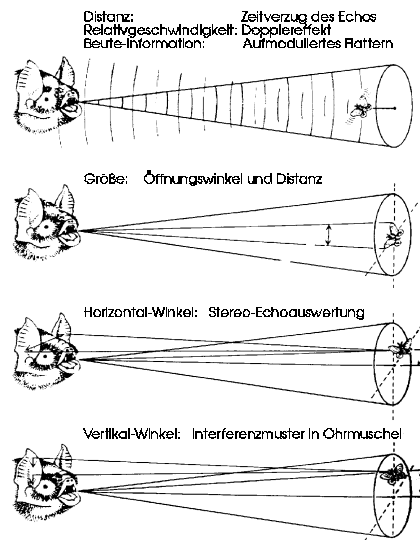
Zusätzlich zu den einzelnen Frequenzen werden sogenannte *Harmonische* (früher *Obertöne* genannt) abgestrahlt, hier bezeichnet mit  $CF_1$ ,  $CF_2$ ,  $CF_3$ , ... symbolisch für die ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz.

Einige Tiere schwächen den Grundton ( $FM_1$  bzw.  $CF_1$ ) des abgegebenen Peilsignales stark (bis auf 1%) ab. Es werden die empfangenen Echo-Signale der Harmonischen, besonders der 2. Harmonischen, in Relation zu dem durch den Schädel übertragenen Grundton ausgewertet. Hierdurch werden Artgenossen in ihrer Peilung wenig behindert.

Zur Peilung auf große Distanz werden überwiegend tiefe Töne verwendet, da sie in der Umgebung weniger stark gedämpft werden. Höhere Frequenzen ergeben dagegen eine bessere Detail-Auflösung.

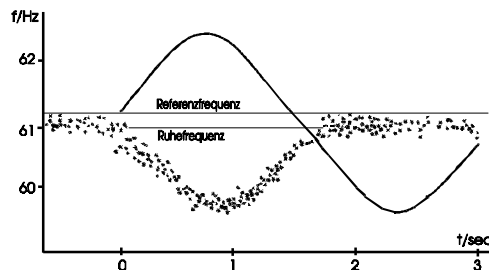
## Informationen aus Echoortung

- ♦ **Entfernung:** Laufzeit des FM-Echos
- ♦ **Relativ-Geschwindigkeit der Beute:** Doppler-Effekt des CF-Echos
- ♦ **Größe der Beute:** Amplitude/ Öffnungswinkel des Echos unter Berücksichtigung der Entfernung
- ♦ **Klassifikation der Beute:** Aufmodulierter Flügelschlag des Echos wird erkannt
- ♦ **Horizontal-Winkel:** Laufzeitunterschiede zwischen linkem und rechtem Signal
- ♦ **Vertikal-Winkel:** Interferenzmuster in Ohrmuschel



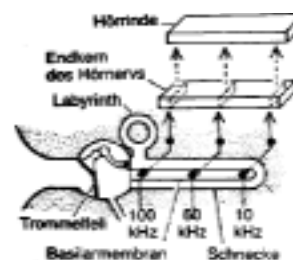
## Dopplereffekt-Kompensation

Die Eigenbewegung der Schnurrbartfledermaus, die in der Vegetation jagt, bewirkt einen Dopplereffekt in dem von der Umgebung und vom Beuteobjekt reflektierten Ultraschall-Echo. Um dies zu kompensieren, wird die Frequenz des ausgesandten Signales abgesenkt, so daß die empfangenen Echo-Frequenzen dann wieder nahe bei den *Referenz-Frequenzen*, d.h. den ohne Eigenbewegung zu erwartenden Frequenzen, liegen. Bei der Schnurrbart-Fledermaus befindet sich diese Referenzfrequenz bei ca. 61kHz, d.h. die Grundfrequenz des Peilsignales beträgt ca. 30.5kHz. Die dargestellten Experimental-Ergebnisse wurden ermittelt, indem eine Fledermaus einer stetigen Schaukel-Bewegung in Flugrichtung ausgesetzt wurde. Während des Vorwärts-Schwunges konnte kompensiert werden, im Rückwärtsschwung nicht.



## Das Hörorgan

Allein durch die Nervenbahnen werden alle Informationen über die ankommenden akustischen Signale übertragen. Die *Amplitude* wird durch die *Impulsrate*, die *Dauer* durch den *Zeitverlauf* übertragen; die einzelnen Nervenzellen an der Basilar-Membran werden dabei frequenzspezifisch erregt, da sich durch die Form der Schnecke nur an gewissen Stellen eine „*stehende Welle*“ ausbilden kann. Der Frequenzbereich um die Referenzfrequenz ist dabei mit übermäßig vielen Sinneszellen belegt. Dies ermöglicht eine besonders hohe Präzision in diesem Bereich.

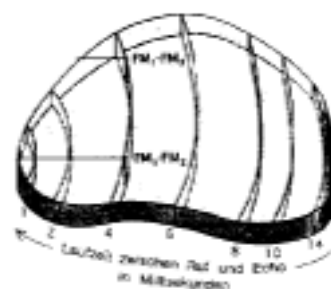


## Auswertung der Echo-Informationen im Gehirn

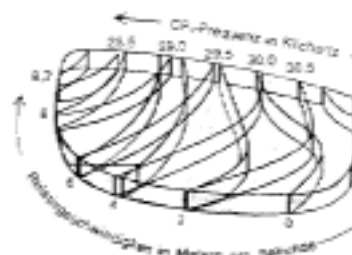
Die neuronalen Impulse werden über den Hörnerv und einige Zwischenglieder in den *Auditiven Cortex*, die *Hörrinde* des *Großhirns*, geleitet. Dort werden die oben angesprochenen Informationen ermittelt. Nach den Aufgabenbereichen unterscheidet man drei Areale, in denen einzelne Neuronen säulenförmig übereinanderliegen und auf spezielle Situationen reagieren:

Das **DSCF-Areal** nimmt mit 30% den größten Teil der Hörrinde ein und verarbeitet das Doppler-verschobene  $CF_2$ -Echo (Doppler-shifted constant frequency). Diese Größe deutet auf die Wichtigkeit hin. Von der Oberfläche aus betrachtet nimmt mit zunehmendem Abstand vom Mittelpunkt die Frequenz zu, auf den die Neuronen-Säule reagiert. Im Kreisumlauf dagegen verändert sich die Amplituden-Selektivität. Die Verbindung des DSCF-Areals mit den anderen Gehirnteilen ist noch nicht geklärt, es ist jedoch wohl auch für die Kompensation verantwortlich.

Im **FM/FM-Areal** werden die Laufzeitunterschiede zwischen Ortungslaut und Echo bei verschiedenen Frequenzen ausgewertet. In verschiedenen Bahnen reagieren die Neuronen auf fest vorgegebene Zeitdifferenzen und können bereits einen Laufzeitunterschied von ca. 80 millionstel Sekunde, dies entspricht etwa einer Entfernungsänderung von 15mm, auflösen. Vermutlich werden auf physiologischer Ebene die Erkennungs-Impulse der Ortungslaute neuronal verzögert, die ankommenden Echo-Impulse jedoch nicht. Treffen beide Erregungen zeitgleich ein, wird das Neuron aktiv.



Das **CF/CF-Areal** schließlich gewinnt aus den Frequenzunterschieden zwischen  $CF_1$ -Ortungslaut und  $CF_2$ - bzw.  $CF_3$ -Echo die Relativgeschwindigkeit des anvisierten Objektes. Es ist im Bereich von 0-4m/s eine erhöhte Genauigkeit zu verzeichnen - diese Geschwindigkeit entspricht der Lande- und Beuteanflug-Geschwindigkeit. Die physiologische Wirkungsweise ist aber noch nicht bekannt.



## Literatur

- **N. Suga**, „Neuronale Verrechnung: Echoortung bei Fledermäusen“  
In: *Spektrum der Wissenschaft*, August 1990
- **G. Neuweiler**, „Echoortende Fledermäuse“  
In: *Biologie in unserer Zeit* 20/3, Juni 1990
- **E. R. Kandel · J. H. Schwartz · T. M. Jessell**, „Neurowissenschaften“  
Spektrum Akademischer Verlag, 1996
- **H. P. Zenner**, „Das Hören“  
Thieme-Verlag, 1994