

Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 1 (1946)
Heft: 9

Artikel: Der sechste Sinn - das war Sonar
Autor: Mislin, H. / Zickendraht, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-654063>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

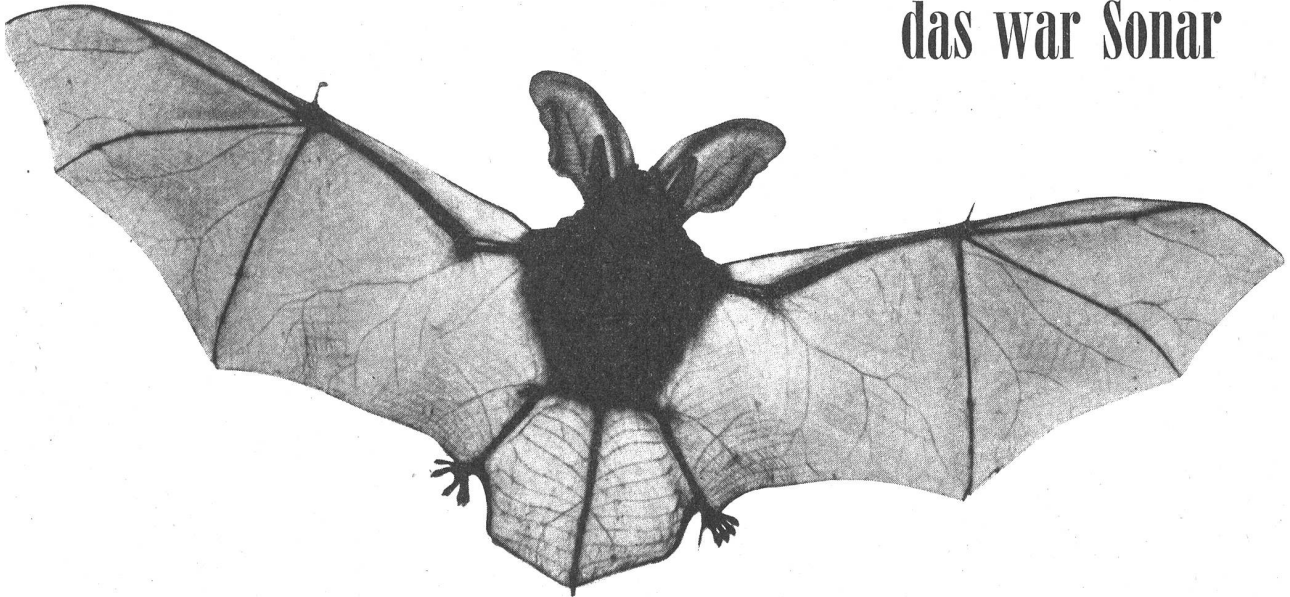
Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Der sechste Sinn — das war Sonar



Selbst blinde Fledermäuse vermögen in ihrem «unsicheren Flatterflug» sogar die ungewöhnlichsten Hindernisse, wie gespannte Drähte und Glasscheiben, sicher zu meiden. Diese Tatsache ist seit Jahrhunderten bekannt, konnte aber bis vor kurzem nicht erklärt werden. Nun scheint das Rätsel gelöst und wir haben einen Zoologen und einen Physiker gebeten, uns über die Geschichte der Erforschung, sowie über die physikalischen Grundlagen und die Wirkungsweise von «Sonar» zu berichten. — Bild 1 oben: Langohrfledermaus (*Plecotus auritus*). Die Ausbildung der großen Hautflächen, besonders auch die riesigen Ohrmuscheln haben manche Forscher dazu verleitet, in ihnen gewaltige Empfangsgebiete für Tastreize zu sehen. Seit der Entdeckung von Jurine wissen wir aber, daß das spezialisierte Ohr ausschließlich im Dienste der akustischen Orientierung steht.

Der sechste Sinn

P. D. Dr. H. Mistlin

In den letzten fünf Jahren ist es Wissenschaftlern in Europa und in Amerika gelungen, das Rätsel der sicheren Orientierung und Hindernismeidung beim nächtlichen Flug der Fledermäuse einer Lösung entgegenzuführen. Rund 150 Jahre Findungen und Irrungen waren dazu nötig. Den ersten experimentellen Vorstoß zur Erforschung der Sinnesfunktion der Fledermäuse unternahm um 1790 *Lazzaro Spallanzani*, ein gründlicher Kenner der nächtlichen Lebensweise dieser einzigen Säugetiere mit echtem Flugvermögen.

Es ist bemerkenswert, daß damals nüchtern und wissenschaftlich denkende Forscher der Fledermaus gegenüber noch einer naiv-urtümlichen, außerwissenschaftlichen Naturbetrachtung verpflichtet waren. In sämtlichen Teufelsdarstellungen des Abendlandes sind die Attribute der Fledermaus gehäuft zu finden, und es will uns scheinen, daß diese Aufladung des Bildes *Fledermaus* mit soviel magisch-dämonischen, ja satanischen Energien eine enorme Nachwirkung auch auf die *aufgeklärten Geister* der Neuzeit gehabt habe!

Jedenfalls zeigte man sich stets willig, im Hinblick auf den phänomenalen Nachtflug der Fledermaus, einem zauberhaft-magischen, zum mindesten aber einem *sechsten Sinn* das Wort zu reden. Sobald man sich aber an ein Präzisieren und logisches Definieren dieses rätselhaften Orientierungssinnes heranmachte, straukelte man bedenklich. Man geriet in gefühlsmäßige Vorstellungen und Hypothesen von einem besonderen Blindensinn, einem Vibrations- oder Ferntastsinn, einem Witterungsvermögen oder einem allgemeinen Gefühlssinn, worunter man sich begreiflicherweise nichts Rechtes hat vorstellen können. Andererseits war ein starkes Anlehnungsbedürfnis an bekannte Erfahrungen auf dem Gebiete der Sinnesleistungen begreiflich. Die erstaunliche Tatsache der völlig sicheren Hindernismeidung der Fledermäuse im dunkeln Nachtraum sollte zunächst von der Blindenwelt aus verstanden werden. Wie sollten auch die kleinen, wenn auch noch so gut ausgebildeten Fledermausaugen für ein Dämmerungsehen oder gar ein Sehen in der Nacht geeignet sein? Bei dieser Fragestellung hat der Naturforscher

Spallanzani eingesetzt. Die von ihm geblendeten Fledermäuse flogen in einem Raum, in dem vertikal verlaufende Fäden gespannt waren, ungestört und sicher, ohne irgendwo anzustoßen und konnten zudem den für sie geeigneten Schlafplatz und Zufluchtsort erstaunlich schnell herausfinden. Das war ein wenig viel an überraschenden Befunden für den Experimentator aus Pavia und so wandte er sich in zahlreichen Briefen an bekannte Forscher im eigenen Lande und in der Schweiz, um ihnen die Ergebnisse seiner Versuche zur kritischen Nachprüfung zu empfehlen. Die *Briefe über einen vermuteten neuen Sinn bei den Fledermäusen* bringen drei Mitteilungen von Spallanzani selbst, drei von *Anton Maria Vassalli* aus Turin, eine ausführlichere Publikation von *Pietro Rossi* aus Pisa und eine eminent wichtige Antwort von *Jean Senebier* aus Genf, die Spallanzani auch darüber orientiert, daß der Genfer Professor *Charles Jurine* seine Versuche in allen Einzelheiten bestätigen konnte. Wir können feststellen, daß Jurine methodisch am geschicktesten operierte und, wie wir sehen werden, mit seinen Schlußfolgerungen der Wahrheit am nächsten gekommen ist. Spallanzani, Vassalli und Rossi schalteten durch isolierende Decken und Substanzen den vielleicht in der Flughaut liegenden besonderen Tastsinn aus, auf chemischem und schließlich auf chirurgischem Wege ebenfalls den Geruch- und den Geschmackssinn, ohne jedoch die Flug- und die Orientierungsfähigkeit der Fledermäuse beeinträchtigen zu können. Erst die von Rossi verwendeten transparenten und opaken Hütchen, die den Fledermäusen übergestülpt worden sind, verhinderten den Normalflug. Damit war zweifellos der fragliche und verantwortliche Sinn experimentell eingekreist und mußte in der Kopfregion seinen Sitz haben. Könnten die Ohren, könnte das Gehör hier eine Rolle spielen? – Die Frage mußte jetzt aufgeworfen werden, konnte aber erst 150 Jahre später endgültig beantwortet werden. Spallanzani verstopfte den Fledermäusen mit einer wachsartigen Substanz die äußeren Ohren und fand nur bei einem einzigen Versuchstier eine Beeinträchtigung des Fluges, und da er beim fliegenden Tier auch nie Töne wahrgenommen hatte, verwarf er die Gehörhypothese und faßte den Stand der Forschung um 1800 dahin zusammen: Es muß ein neues Organ oder ein neuer Sinn vorhanden sein, ein Sinn, welchen wir selber nicht besitzen und über den wir auch nie etwas Gütiges werden aussagen können.

Die von Spallanzani veranlaßte Bearbeitung des Problems durch verschiedene Forscher hat, wie kurz angedeutet, mit den Erkenntnissen Charles Jurine's zur Ablehnung des sechsten Sinnes geführt. Jurine gelang es, die Ohren seiner Versuchstiere hermetisch zu verschließen und anhand der gestörten Orientierung zu beweisen, daß sie als Gehörorgane für das Zurechtfinden im Raum von entscheidender Bedeutung sind, eine Erkenntnis, die Spallanzani tief

beeindruckte und der er seine Anerkennung nicht versagte, da er in Jurine's Experimenten den Abschluß seiner eigenen Forschung erblickte. Unglücklicherweise waren inzwischen die *Briefe über den neuen Sinn* schon veröffentlicht worden, so daß der Nachwelt ein falsches Bild von Spallanzanis Auffassung überliefert wurde, bis in neuester Zeit der Amerikaner *Robert Galambos* Spallanzanis Leistungen bei der Erforschung des Orientierungssinnes der Fledermäuse ins richtige Licht zu stellen vermochte.

Daß sich diese falsche Vorstellung besonders zähe in der wissenschaftlichen Welt halten können, ist das zweifelhafte Verdienst des großen Anatomen *Georges Cuvier*, dem die Postulierung eines sechsten Sinnes, wenn dies auch schon längst als reine Arbeitshypothese Spallanzanis erkannt war, unsympathisch blieb und der deshalb im Jahre 1795 kurz entschlossen dem Professor aus Pavia nahelegte, sich angesichts der erstaunlichen Blindflüge der Fledermäuse mit dem Gedanken zu befassen, daß bei diesen Tieren ein besonders spezialisierter Tastsinn mitspielen müsse. Cuvier setzte sich über die fein variierten Versuche Spallanzanis und seiner Mitarbeiter, sowie über ihre kritischen Diskussionen einfach hinweg, polemisierte gegen die grausamen Experimente und stützte seine Behauptungen mit dem bloßen Hinweis auf die großflächige Flughaut, die Ohrmuscheln und Nasenaufsätze der meisten Fledermäuse, ohne auch nur einen einzigen praktischen Versuch durchzuführen. Als der bedeutende deutsche Anatom *Schöbl* um 1871 die Flughautinnervation und besonders die Nervenendigungen in der Hautduplikatur der Fledermäuse nachwies, war er überzeugt, die Cuvier'schen Tastsinneszellen gefunden zu haben. Er wiederholte einige der unbeweisenden Versuche mit Tieren, denen die Augen verklebt wurden und erachtete hernach Cuvier's Hypothese als gesichert.

Gegen Ende des letzten Jahrhunderts befaßte sich der englische Physiker *Thomas Carlisle* mit dem Gehör der Fledermäuse ohne aber eine Erklärung für Jurine's Entdeckung geben zu können. Später wiesen zwar die beiden Franzosen *Rollinat* und *Trouessart* auf Grund vieler Versuche die führende Rolle des Gehörsinnes beim Richtungsfinden der Fledermaus nach, sie glaubten aber letzten Endes doch zur Feststellung gekommen zu sein, daß der Sinn, der die Fledermäuse im Dunkeln alle Hindernisse vermeiden läßt, nicht an ein einziges Organ gebunden sei, sondern daß der Blindflug auf das Zusammenwirken verschiedener Sinnesorgane zurückgeführt werden müsse. Acht Jahre später unternahm *Hahn* (1908) an amerikanischen Höhlenfledermäusen eine nochmalige Überprüfung der Spallanzanischen Versuche und kam zum selben Ergebnis wie Jurine, ohne von diesem irgendwelche Kenntnis gehabt zu haben. Seine Interpretation der Versuchsergebnisse bedeutete zwar einen Rückschritt, denn er postulierte aufs neue die Existenz

Bild 2: Mausohrfledermaus (*Myotis myotis* S.) beim Abflug. Die Fledermaus führt orientierende Kopfbewegungen aus. Der Kopf ist vorgestreckt und aus dem geöffneten Maul werden die Ultraschallwellen ausgestoßen.

Alle Aufnahmen vom Verfasser

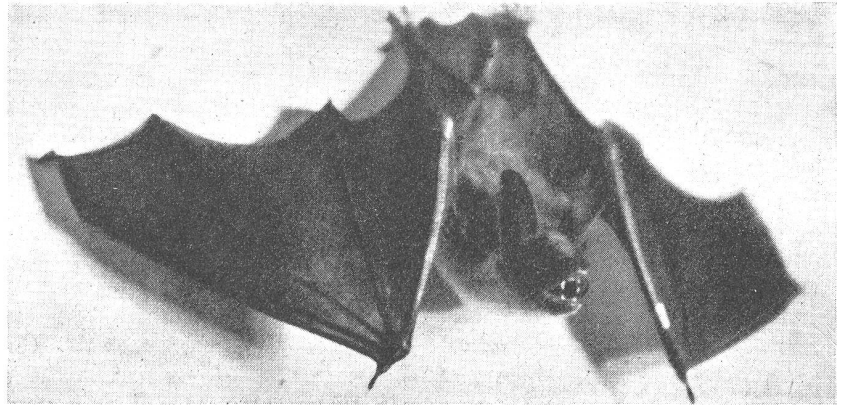
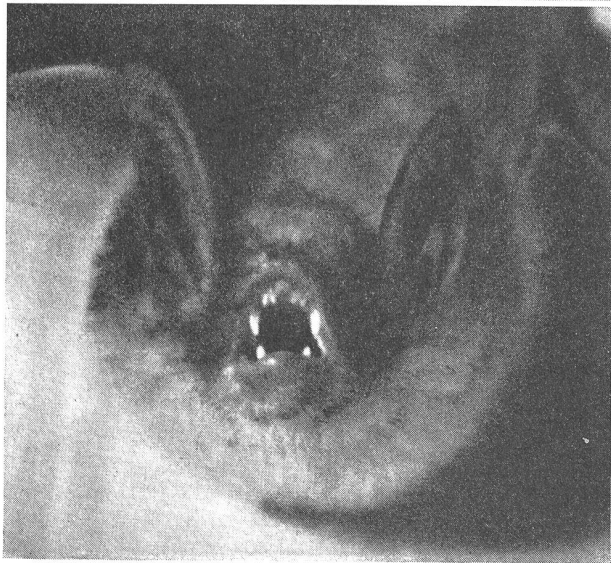
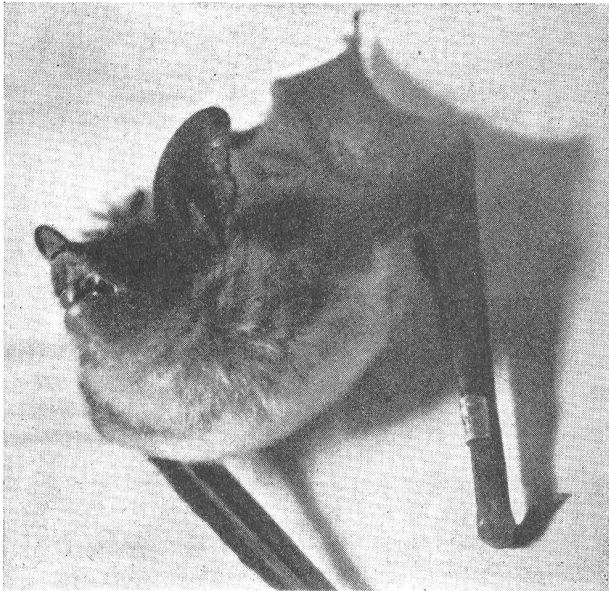


Bild 3: Mausohrfledermaus. Das Maul ist trichterförmig vorgestreckt und die Ohren sind bereit, die zurückkommenden Schallwellen aufzunehmen. – Bild 4 unten: Mausohrfledermaus beim Abflug. Ansicht von vorne. Die Lippen sind seitlich stark vorgewölbt und vervollkommen die Trichterform der Maulöffnung.



eines sechsten Sinnes, den er zweckmäßig als *Richtungssinn* bezeichnete.

Nun aber — in den Jahren zwischen 1900 und 1910 — begann der technische Fortschritt gewaltige Ausmaße und eine beschleunigte Gangart anzunehmen, und unter den vielen Errungenschaften einer neuen technischen Epoche nahmen die Systeme und Geräte der Nachrichtenübermittlung in die Ferne und aus der Ferne konkrete Formen an. Der Fortschrittsoptimismus stand hoch im Kurs. Als dann aber die *Titanic* 1912 mit einem Eisberg zusammenstieß und sank, da ging geradezu eine Malaise wegen der technischen Unzulänglichkeiten durch die Welt. Das Problem *Hindernismeidung im Dunkeln* stellte sich von ganz neuer Seite. Kein Wunder, daß sich Sir *Hiram Maxim* der Spallanzanischen Fledermausexperimente erinnerte, um jenen *sechsten und so unfehlbaren Sinn* in den Dienst der Menschheit stellen zu können. Maxim war durchaus überzeugt, Spallanzani habe bewiesen, daß die Fledermäuse alle Hindernisse abtasteten mit Hilfe von Luftströmungen, die von den Flügeln hingelenkt und von ihnen als Echo wieder aufgefangen würden. Ein ähnlich beschaffenes Echolot sollte für die Seeschifffahrt entwickelt werden. Die ideale Arbeitshypothese für die endgültige Erfassung des Orientierungssinnes der Fledermäuse war — zwar auf Grund einer vollkommen irrigen Annahme — gefunden! Sir Maxim schlug vor, jedes Seeschiff solle einen Generator mit sich führen, der niedrig frequente Töne aussende, die vom Hindernis — zum Beispiel von einem treibenden Eisberg — reflektiert würden, um dann von «künstlichen Ohren» des Sendeschiffes wieder aufgenommen zu werden. Mit diesen Empfängern gekoppelte starktönende Glocken melden große, schwachtönende Glocken kleine Hindernisse. Mit solchen und ähnlichen Problemen hatte sich während des ersten Weltkrieges der englische Sinnesphysiologe *Hartridge* zu befassen. Hartridge, ein Spezialist für die Theorie der Schallwahrnehmung und Schallaussendung behauptete 1920 als erster, daß die Fledermäuse mittels Schallaussendung die Hindernisse ihrer Umgebung dadurch bestimmen könnten, daß sie die Reflexionen

ihrer eigenen hochfrequenten Töne wiederauffangen. Damit erfuhr die alte, erst vage bestimmte Hypothese der «Gehörorientierung» von Jurine ihre zeitgemäße Wandlung. Die neue Hartridge-Hypothese der akustischen Orientierung mit Echolotung wurde 1938 durch *Pierce* und *Griffin* in allen Einzelheiten erhärtet. Das Ende der Hypothesen war herangekommen, nachdem es den Amerikanern gelungen war, mit hochempfindlichen elektrischen Empfangsgeräten den von den fliegenden Fledermäusen ausgesandten, für uns unhörbaren Ultraschall, nachzuweisen. Diese hochfrequenten Töne werden nur beim Abflug und während des Fluges ausgestoßen. Die Forscher konnten eine Reihe von hörbaren und nicht hörbaren Tönen unterscheiden, denen jeweils eine für den Flug und die Orientierung signifikante Bedeutung zugewiesen werden konnte.

Früher schon hatte *Withaker* nachgewiesen, daß das Fledermausgehör besonders auf die hohen Töne empfindlich reagiert, und *Jakob von Uexküll* und später *Max Eisentraut* machten darauf aufmerksam, daß zwischen den hohen Schwirrtönen der fliegenden Insekten, der einzigen Nahrung dieser Flattertiere, und dem auf diese hohen Töne eingestellten Gehör der Fledermäuse eine funktionelle Verzahnung bestehe. Im Jahre 1940 haben wir selbst in einem Film bei Mausohrfledermäusen typische Kopfstellungen und Mundbewegungen festgehalten, die von den Fledermäusen in der Abflugphase ausgeführt werden und die – wie wir seit *Pierce* und *Griffin* wissen – im Dienste der Tonproduktion zur akustischen Orientierung stehen. In kriegsbedingter Unkenntnis der experimentellen Untersuchungen von *Griffin*, *Pierce* und *Galambos* hat in Holland *Dijkgraaf* (1943) Lautäußerungen der Fledermäuse zur Orientierung im Flug als notwendig nachge-

wiesen. Das Fernwahrnehmungsvermögen beruht nach *Dijkgraaf* auf der Fähigkeit, einen zu diesem Zweck selbst hervorgebrachten und von den Gegenständen reflektierten *Ratterlaut* zu hören, der streng nach vorne gerichtet ausgesendet wird. Bei Annäherung an ein Hindernis steigert die Fledermaus die Zahl der Tick- und Ratterlaute, und *Dijkgraaf* stellt fest, daß bei Verstärkung der Laute ein Summton entsteht, der bis $\frac{1}{4}$ Sekunde dauern kann.

Bisher unveröffentlichte Untersuchungen von *Moehres* in München, von *Dijkgraaf* in Groningen und von uns in Basel lassen einen Ortsinn der Fledermäuse erkennen, ähnlich demjenigen zahlreicher Insekten. So suchen sie die Anflugöffnung ihres Käfigs, wenn derselbe verschoben wurde, genau an der früheren Stelle im Raume. Von uns beringte kleine Hufeisennasen, die in ihren Winterschlafhöhlen über mehrere Jahre hinweg kontrolliert worden sind, wurden an verhältnismäßig glatter Felswand an derselben Stelle schlafend wiedergefunden, die in der Wintersaison zuvor aufgesucht worden war. Diese und andere Beobachtungen weisen darauf hin, daß die Fledermäuse in der Lage sind, ein durch Töne bestimmtes Raumbild gedächtnismäßig über lange Zeitspannen hinweg festzuhalten. Die tönende Plastik ist hier tatsächlich Wirklichkeit geworden. Die Umwelt der Fledermaus baut sich aus Tönen, aus tönender Peilung und Nachhall auf. Die großen Leistungen des Flugvermögens in der Dunkelheit, der Orientierung im freien Luftraum und in den Felshöhlen unter der Erde, sowie des Insektenfanges im Fluge, sie alle sind das Ergebnis einer einseitig vollendeten Umwelt, eben der Hörwelt der Fledermaus. Nur von der Welt der Fledermaus kann man, ohne poetisch zu sein, sagen, sie sei die Welt der Töne.

das war Sonar

Zuweilen kommt es vor, daß die Technik sich bemüht, bekannte Naturvorgänge nachzuahmen, ebenso häufig aber finden wir, daß die Lösungen, die den Physikern und Technikern erst nach langer mühevoller Arbeit gelangen und die Geräte, die sich daraus entwickeln ließen, von der Natur schon seit Jahrtausenden angewandt und mit verhältnismäßig einfachen Mitteln verwirklicht worden sind. Als Beispiele können wir etwa die modernen Mikrophone mit Verstärkern einerseits, das Gehörorgan andererseits, optischen Linsen, Photozellen usw. einerseits, die verschiedenen Sehorgane wie sie die Natur schuf, andererseits anführen. Die Analogie der physikalischen Vorgänge in Technik und Natur ist dabei oft ganz überraschend.

Prof. Dr. Hans Zickendraht

So zeigt es sich, daß auch die Ortsbestimmung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen, das, was wir nach amerikanischem Vorbilde heute *Radar* nennen, in der Gestalt einer Abtastung des Raumes mit sehr kurzen Schallwellen, zum Beispiel mit Hilfe von unhörbarem Ultraschall, in der Natur längst vorkommt, lange bevor das Menschengeschlecht überhaupt an Technik gedacht und sich Geräte zur Unterstützung seiner fünf Sinne geschaffen hat. Man nennt die Anwendung von Schallwellen zur Ortsbestimmung *Schall-Lotung*, wenn es sich zum Beispiel um die akustische Untersuchung von Meerestiefen vom Schiffe aus, oder um Höhenbestimmung vom Flugzeug aus handelt. Diese Technik trägt seit einiger Zeit den kurzen aber prägnanten Namen

Sonar und es lohnt sich, ihr eine eingehendere Betrachtung zu schenken.

In seiner, diesem Aufsatz vorangehenden Arbeit über den «sechsten Sinn» hat Privatdozent Dr. H. Mislin die einzelnen Etappen der über einen langen Zeitraum ausgedehnten Untersuchungen des Fledermausfluges und der damit verbundenen Orientierungsvorgänge eingehend beschrieben. Erst die Ergebnisse der modernen Schwingungsforschung zeigten den Weg zu einer eindeutigen Lösung und machten das Mysterium eines sechsten Sinnes überflüssig. Dank den Arbeiten von *H. Hartridge* und den zahlreichen Versuchen von *R. Galambos* und *D. R. Griffin* wissen wir mit ziemlicher Sicherheit, daß sich die Fledermäuse – zum mindesten gewisse, besonders fluchtüchtige Arten – in voller Dunkelheit durch Schallimpulse und deren Reflexe ebenso orientieren können, wie wir es heute mit Radar durch elektromagnetische Wellen zu tun vermögen. Statt eines Luminiszenzschirmes zur Beobachtung der zurückkehrenden Impulse, steht ihnen zur Aufnahme der reflektierten Schallwellen ein außerordentlich feines Gehör zur Verfügung.

Die Untersuchungen der genannten Forscher zeigen, daß die Fledermäuse während ihrer Flüge dauernd kurze Schreie ausstoßen, deren akustische Aufnahme mit modernsten Hilfsmitteln (Mikrophone, Verstärker, Kathodenszillographen) ergeben

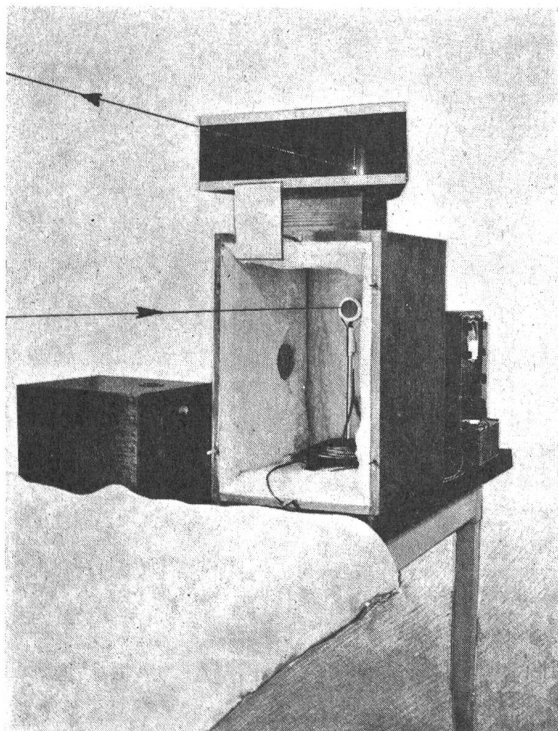


Bild 1: Modell einer «Sonar»-Apparatur. Oben der Parabolspiegel mit der Funkenstrecke als Schallquelle, darunter der Holzkasten mit dem Mikrophon. Links das Hochspannungsgerät, rechts hinten der Oszillograph.

hat, daß es sich um kurze Impulse von je ungefähr 0,01 Sekunden Dauer bei Tonhöhen zwischen 30 000 und 70 000 Hertz (gewöhnlich etwas enger zwischen 40 000 und 55 000 Hertz) handelt, wobei die Impulsfolge je nach der Entfernung des Hindernisses automatisch gewählt wird. Entfernte Gegenstände werden mit etwa 12 bis 20 Pulsen, ganz nahe liegende mit 50 bis 60 Impulsen pro Sekunde angestrahlt. Die Impulsfolgen können als ein leises Brummen gehört werden. Daneben geben die Tiere aber auch Signale ab, die vielleicht der gegenseitigen Verständigung dienen und die aus Pulsen von ungefähr $\frac{1}{4}$ Sekunden Dauer mit dem hörbaren Tone 7000 Hertz bestehen. Zuweilen werden auch einzelne «clicks» in dieser Tonlage ausgestoßen, deren Bedeutung noch nicht geklärt ist.

Es erhebt sich nun eine ganze Reihe von Fragen: Wie hört die Fledermaus den Ultraschall bis 70 000 Hertz? Wie erzeugt sie diese Frequenzen, wie teilt sie den Ultraschall in Impulse bis zu 60 in der Sekunde? Wie ruft das Tier seine Signalfrequenz 7000 Hertz hervor, atmet aber daneben und kann seinen Mund dazu noch für die Aufnahme von Insektennahrung fast dauernd offen halten? Wie vermag – und das ist vielleicht die schwierigste aller Fragen – die Fledermaus die verhältnismäßig starken Impulse auszustoßen, ohne daß das empfindliche Gehörorgan dabei betäubt und dadurch für den unmittelbar darauffolgenden Empfang des schwachen Reflexes unbrauchbar wird?

Selbstverständlich müssen diese Fragen in erster Linie vom Zoologen und Physiologen beantwortet werden. Der Verfasser hält sich daher, als Physiker, lediglich an die akustischen Probleme, die physikalisch beurteilt werden können. Bekanntlich hört das gesunde menschliche Ohr ein Tongebiet von ungefähr $10\frac{1}{2}$ Oktaven, nämlich den Bereich von 16 Hertz bis 16 000 (evtl. 20 000!) Hertz. Es ist aber durch Versuche von *R. Galambos* eindeutig gezeigt worden, daß der Hörbereich der Fledermäuse zwischen 30 und 98 000 Hertz (!) liegt, wobei ausdrücklich festgestellt wurde, daß beim Ultraschall von 60 000 Hertz das Fledermausohr noch eine große Empfindlichkeit und Hörschärfe besitzt. Damit ist die erste Frage beantwortet. Die Zoologen belehren uns ferner darüber, daß der gut ausgebildete Kehlkopf der Fledermaus mit seinen außerordentlich stark spannbaren Stimmbändern sehr wohl Frequenzen bis zu den genannten Höhen zu erzeugen imstande sei. Treibendes Agens ist dabei der aus der Lunge kommende Luftstrom. Eine von zoologischer Seite aufgestellte Hypothese versucht wahrscheinlich zu machen, daß die Impulse durch Öffnen und Schließen der sogenannten falschen Stimmbänder gesteuert würden. Die Frage, wie das Tier indessen gleichzeitig seine «Sonar»-Impulse und seine Signaltöne hervorzubringen, dabei zu atmen und die Nahrungsaufnahme durch den Mund zu bewältigen imstande ist, steht aber gegenwärtig noch offen.

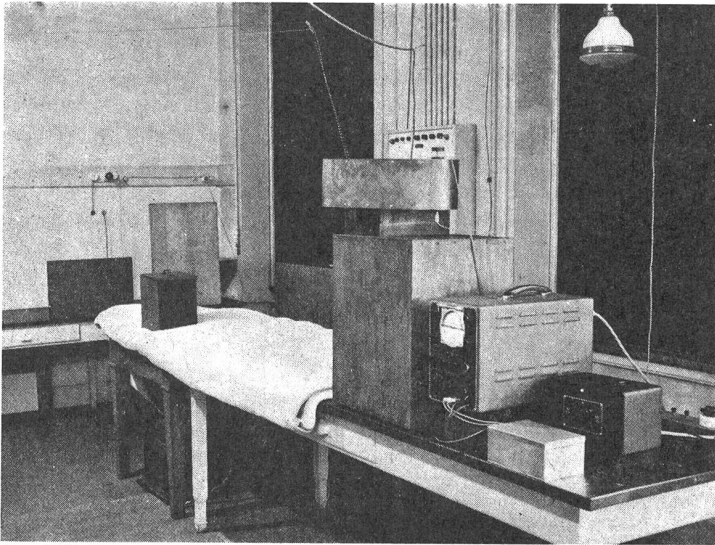


Bild 2: Modell einer «Sonar»-Apparatur. Im Hintergrund verschiedene Gegenstände, an denen die Schallimpulse des Senders (oben) reflektiert werden. Die Pulse und Reflexe erscheinen auf dem Oszillographenschirme (rechts).

Die letzte der oben aufgeworfenen Fragen ist in der Hauptsache eine physikalische, nebenbei dann physiologischer Art, und soll, da sie sehr interessante Probleme aufrollt, hier etwa eingehender behandelt werden. Das fliegende Tier befindet sich zum Beispiel momentan bloß einen Meter vor einem gefährlichen Hindernisse und stoße seine Signalimpulse aus. Der Schallweg ist in dem Augenblicke also zwei Meter lang und wird vom Impuls in genau 0,00588 Sekunden zurückgelegt, falls die Schallgeschwindigkeit zu 340 Meter pro Sekunde angenommen wird. In ungefähr $\frac{5}{1000}$ einer Sekunde muß also das Fledermausohr, nachdem es eben noch vor der betäubenden Wirkung des intrakraniell übertragenen lauten Schallimpulses geschützt worden war, schon für den verhältnismäßig lauschwach zurückkehrenden Schallreflex empfangsbereit sein. Die Lösung dieses Problems ist der Natur zweifellos gelungen und kann kaum auf einem anderen Wege gedacht werden, als daß, durch eine nervöse Kopplung der Muskulatur, die den Kehlkopf betätigt, mit derjenigen, die das Trommelfell im Ohre spannt und die Gehörknöchelchen bedient, eine Blockierung des empfindlichen Empfängers während der Tätigkeit des Senders und eine Freigabe des Empfängers für die Aufnahme der Reflexe eintritt, sobald der Sender seine Tätigkeit eingestellt hat. Wenn wir uns ein derartiges Arbeiten der genannten Sinnesorgane der Fledermaus vorstellen, so gehen wir eben von den Vorgängen aus, die die Physiker beim elektromagnetischen Radar experimentell gelöst haben, ohne indessen behaupten zu wollen, daß die Natur dieselben Wege hat wählen müssen.

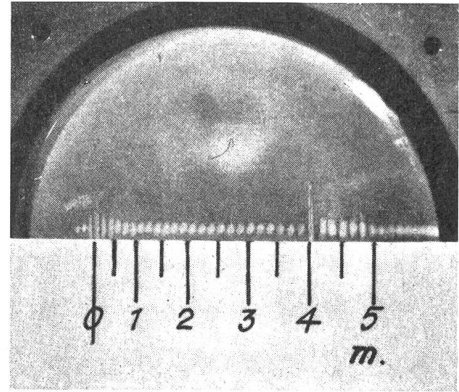


Bild 5: Sonar-Schirmbild. Messung der Schallgeschwindigkeit durch Eichung des Schirmbildes mit der Frequenz 1000 Hertz. Bei 4,1 Meter Entfernung Reflex an der Zimmerwand.

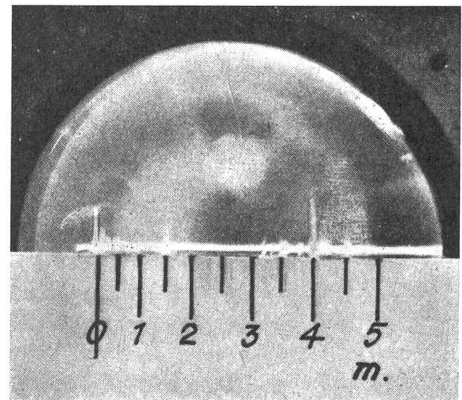


Bild 4: Sonar-Schirmbild. Bei 0 Abgang des Schallimpulses, bei 4,1 Meter Reflex an der gegenüberliegenden Zimmerwand. Kleine Schallreflexe an den in Bild 2 sichtbaren Gegenständen.

Von verschiedenen Seiten ist nun versucht worden, «Sonar»-Systeme auszubilden und deren Eigenschaften im Laboratorium experimentell zu erforschen. Da sich hiebei, im Gegensatz zum Falle der physiologisch bedingten Prozesse fast alles vorausberechnen und im Einzelnen beobachten läßt, so sei ein an der Abteilung für angewandte Physik der Basler Physikalischen Anstalt vom Verfasser improvisiertes Gerät und sein Arbeiten hier näher beschrieben:

Ein einfaches «Sonar»-Gerät

Bekanntlich eignen sich Knallfunken, das heißt die elektrischen Entladungen von Kondensatoren vortrefflich als Erreger kräftiger und dabei kurzer Schallimpulse. Ordnet man nun eine Funkenstrecke in der Brennlinie eines parabolischen Zylinders von geeigneter Öffnung an, so erhält man einen brauchbaren akustischen Strahlwerfer, der ein Bündel von

Schallstrahlen in bestimmter Richtung abzugeben erlaubt. In den beiden Abbildungen (Bild 1 und Bild 2) ist der Parabelspiegel mit seiner Funkenstrecke zu oberst auf der einfachen Apparatur zu sehen. Die Funkenstrecke wird von dem in Bild 1 links unten sichtbaren Hochspannungs-Gleichrichter automatisch gespiesen und zwar derart, daß je nach Einstellung in bestimmten Zeitabständen Knallfunken springen, die kurze Schallimpulse abgeben. Der Sender steht oben auf einem innen dick wattierten Holzkasten, dessen Tiefe ein gutes Kristallmikrophon birgt. Es entsteht durch diese einfache Maßnahme ein guter Richtempfänger, der so stark gegen den Schallsender abgeschirmt ist, daß man sich gezwungen sieht, durch eine zwischen Sender und Empfänger angebrachte kleine reflektierende Platte, die im Bild 1 gut sichtbar hervortritt, einen Teil des ausgesandten direkten Funkenknalls zum Mikrophon zu lenken, will man den Abgang der ausgesandten Impulse als Nullzeichen überhaupt auf dem Oszillographenschirme beobachtbar machen.

Der Schallimpuls geht vom Richtstrahler aus, erreicht irgend ein im Laboratorium aufgestelltes Hindernis, wird reflektiert und kehrt zum Mikrophon zurück. Dieses ist unter Zwischenschaltung eines geeigneten Röhrenverstärkers unmittelbar an einen guten Oszillographen angeschlossen. Wir verwendeten das vortreffliche Modell Philips G. M. 4198 mit Nachbeschleunigung. Es liefert bei jedem Impulse eine wohldefinierte vertikale Ablenkung des Leuchtfleckes auf dem Lumineszenzschirme. Genau wie bei Radar läßt man den Fleck nun mit geeigneter Geschwindigkeit von links nach rechts quer über den Schirm laufen, erhält als Nullstelle den Abgangsmoment des Funkenknalls und etwas später das Eintreffen des Schallreflexes in Form von Vertikalstrichen, zuweilen sehr scharf, manchmal etwas verbreitert, je nach der Natur des zurückwerfenden Hindernisses, abgezeichnet. In Bild 3 ist die ganze Aufstellung für einen derartigen Versuch wiedergegeben. Man sieht oben den Parabelspiegel mit der Funkenstrecke auf dem Mikrophonkasten stehend. Davor den Oszillographen mit dem Hilfsgerät für die elektrische Nachbeschleunigung des Kathodenstrahls, die für besonders lichtstarke Schirmbilder sorgt, links in der Tiefe die angestrahlte Zimmerwand und davor einige in bestimmten Abständen vom Sonargerät angeordnete schallreflektierende Gegenstände, zwei kleine vertikale Wände und ein auf dem Tische stehendes Kästchen. Der Tisch selbst mußte zur Vermeidung störender Rückwürfe und Interferenzen dick mit Wollentuch belegt werden.

Eine im genannten Philips-Oszillographen G. M. 4198 eingebaute Vorrichtung ermöglicht auf eine hier im Einzelnen nicht wiederzugebende Weise, den Lichtfleck während der Sendepausen vollständig zu sperren und nur dann erscheinen zu lassen,

wenn ein Funke springt. Diese vorzüglich arbeitende Einrichtung liefert bei den mit der Apparatur auszuführenden akustischen Entfernungsmessungen (Schall-Lotungen) stabile Schirmbilder, die an einer feststehenden Skala unter Benutzung der Vertikalablenkungen als Lichtzeiger alle Entfernungen der aufgestellten und angestrahlten Gegenstände unmittelbar ablesen lassen. Die Eichung der Skala bot anfangs einige Schwierigkeiten, bis der Verfasser auf den Gedanken kam, den Kathodenstrahl durch eine aufgeprägte Frequenz bekannter Größe, zum Beispiel 1000 Hertz, in einzelne «Perlen» aufzulösen. Damit entstand eine Zeitskala auf dem messenden Lichtstreifen selbst und die Aufgabe war gelöst. Daß man auf diese Weise selbst mit einem einfachen Demonstrationsinstrumentarium im Zimmer die Schallgeschwindigkeit recht genau messen kann, beweist der folgende Versuch: In Bild 3 ist eine Momentaufnahme des Schirmbildes auf dem Kathodenooszillographen wiedergegeben. Man bemerkt den Abgangsmoment des Schallimpulses etwas vor Skalenteil 0, die vertikale Marke für den Reflex an der Zimmerwand etwas hinter Skalenteil 4 m Entfernung. In Wirklichkeit betrug die Länge des Schallweges $2 \times 4,63 = 9,26$ m, die in der Zeit von 27 Tausendsteln einer Sekunde zurückgelegt wurden. Hieraus folgt unmittelbar

$$\text{Schallgeschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}} = \frac{9,260}{0,027} = 343 \text{ m/s}$$

Dieser Wert entspricht durchaus demjenigen, der bei der herrschenden Zimmertemperatur galt. Man sieht also, daß die improvisierte Sonar-Apparatur recht befriedigende Messungen anzustellen erlaubt.

Schließlich sei noch das Oszillogramm der in Bild 2 wiedergegebenen Aufstellung beigelegt. In Bild 4 erkennt man den Ausgangsimpuls (Funkenknall), der auf den Skalenteil 0 gestellt worden war, den Reflex am Kästchen auf dem Tische, das sich gemäß der Skala in 1,5 m Entfernung von der Schallquelle befand, ferner die Reflexe bei 3,2 m und 3,45 m an den beiden aufgestellten Brettern rechts und links, einen Schallrückwurf bei 3,8 m, dessen Herkunft nicht direkt zu erweisen ist und der vermutlich von den Zimmerwänden herrührt, und endlich den starken Reflex an der Zimmerwand bei 4,1 m Entfernung. Durch einen einzigen Knall der Funkenstrecke im Parabelspiegel wird also der Raum gegenüber dem Schallstrahlwerfer abgetastet und liefert seine Angaben unmittelbar auf dem Leuchtschirme des Kathodenooszillographen. Nahezu dasselbe spielt sich statt mit Schallwellen mit elektromagnetischen Wellen von einigen Zentimetern Wellenlänge bei dem vom Menschen geschaffenen Radar-Gerät ab. Die Natur aber hat die ihr gestellte Aufgabe bei der Fledermaus und möglicherweise noch bei manchen anderen Tieren unter Zuhilfenahme von Ultraschall schon vor Jahrtausenden in ähnlicher Weise gelöst.