

Zur Evolution von Tongebung und Tonwahrnehmung

Voraussetzung für unsere, menschliche, Fähigkeit Ton, Gesang und Musik zu erzeugen oder zu hören ist vor allem das Vorhandensein entsprechender Sinnesorgane, welche sich im Laufe der biologischen Evolution entwickelt haben. Diese Organe entstanden, stammesgeschichtlich gesehen, teilweise schon sehr früh und hatten ursprünglich noch andere Zwecke zu erfüllen (z. B. Verständigung) als die Erzeugung von Gesang und Musik im menschlichen Sinn. Nach Bonner, J. T. (1983) sind es sozial lebende Tiere, welche miteinander kommunizieren, und das Ausmaß der Kommunikation ist ein Aspekt der Tiergesellschaften, der in direkter Beziehung zu Kultur steht.

1. Begriffserklärungen

1.1 Evolution

Im Zusammenhang dieser Untersuchung ist zunächst eine Umschreibung der von Ernst Haeckel 1866 formulierten „Biogenetische Grundregel“ bedeutsam. Die „Biogenetische Grundregel“ besagt, daß vielzellige Organismen in ihrer Ontogenie in verkürzter Form ihre Phylogenie rekapitulieren (Kämpfe, L. 1992, 32). Demzufolge formt ein Säugetier in Reminiszenz an seine Vergangenheit Kiementaschen im Vorderdarm, Kiemenbogenarterien, knorpelige Kiemenbögen und ein primäres Kiefergelenk (Müller, W. A. 1995, 108).

Als Anpassungsmechanismus ist die Evolution durch das Ausgangsmaterial eingeschränkt, auf das sie einwirken kann und damit erheblichen konstruktiven Zwängen unterworfen. Daher kommt es eher zu Umwandlungsprozessen mit vielerlei Kompromissen als zu einem von Grund auf kreativen Vorgang (Campbell, N. A. 1997, 698).

Im Laufe der Evolution wurde Wahrnehmung zu einer starken adaptiven Strategie, durch welche Tiere, entweder im Laufe ihrer Entwicklung oder durch Lernen, selektiv Informationen aus der Umwelt holen, um auf die Welt und die anderen Tiere, welche diese besetzen, zu reagieren (Stebbins, W. C. & Sommers, M. S. 1992).

1.2 Hören

Beim Hören haben wir es mit der sensorischen Verarbeitung von Schallwellen zu tun, die von schwingenden Körpern ausgehen, durch die Luft oder das Wasser übertragen werden und entsprechende Strukturen am Tier in Mitschwingung (Resonanz) versetzen. Der adäquate Reiz für den Gehörsinn ist somit ein rhythmisch wechselnder Druck oder eine rhythmisch wechselnde Strömung in einem elastischen Medium im „Fernfeld“ der Schwingungsquelle (Penzlin, H. 1977, 367).

Hören ist das Ansprechen eines Tieres auf Tonvibrationen durch ein spezielles Sinnesorgan, für welches solche Vibrationen der effektivste Stimulus sind (Webster, D. W. 1992).

Der adäquate Reiz sind longitudinale Schwingungen von Massenteilchen (Schall, Ultraschall). Die Lautstärke wird von der Amplitude der Schallwelle bestimmt und die Tonhöhe von der Frequenz (Remane, A. et al., 1981, 87).

Das heißt, je größer die Amplitude ist, desto lauter und je höher die Frequenz, desto höher wird der Schall empfunden. Sich regelmäßig wiederholende Schallwellen werden vom Menschen als Töne empfunden, periodische Schwingungen als Geräusche.

Ton ist der physikalische Stimulus, der die Wahrnehmung des Hörens verursacht. Frequenzen von 0,1 Hz bis 200 KHz sind darin enthalten (Webster, D. W. 1992).

Als physikalische Parameter können die Schallschnelle oder der von der Schallquelle erzeugte Schallwechseldruck ausgewertet werden (Siewing, R. 1980, 369). Die Schallschnelle wird von Hörhaaren registriert, der Schallwechseldruck von großflächigen Membranen.

2. Die Sinnesorgane

In der Regel ist das Vorhandensein eines Gehörs mit dem Vermögen zur Schallerzeugung gekoppelt und das Gehör umfaßt den Frequenzbereich, in dem auch die Laute hervorgebracht werden. Ausnahme sind zum Beispiel einige Kleinschmetterlinge, welche stumm sind, aber die Orientierungsläute von Fledermäusen hören.

2.1 Hörorgane

Aufgrund der unterschiedlichen Bauweise und Funktion listen Remane, A. et al. (1981, 90), Penzlin, H. (1972, 367ff.) oder Siewing, R. (1980, 371) folgende Typen von Hörorganen auf:

Schnelleempfänger: bewegliche Haare, die an einer Sinneszelle aufgehängt sind, werden von der Schnelle-Komponente in Schwingung versetzt (z. B. Hörhaare bei Küchenschaben oder Johnston'sche Organe von Stechmücken, die allerdings nicht allein auf Hören spezialisiert sind).

Druckgradientenempfänger: der Schalldruck versetzt beide Trommelfelle und die dahinter stehenden Luftpolster in Schwingungen (z. B. Tympanalorgane an der Tibia von Laubheuschrecken, am Vorderflügel von Tagfaltern oder am Rumpf von Zikaden).

Druckempfänger: der Schalldruckwechsel gelangt nur von einer Seite an das Trommelfell, die Schwingungen werden auf die Basilarmembran übertragen (z. B. Ohr der Landwirbeltiere).

2.2 Lauterzeugungsorgane

Die Erzeugung von Lauten mit biologischer Bedeutung ist bei Arthropoden und Wirbeltieren weit verbreitet, auch wenn es für uns nicht wahrnehmbare Ultraschallbereiche betrifft. Bei Remane, A. et al. (1981, 90ff.) findet man dazu folgende Einteilung:

Schrillorgane (Stridulationsorgane): Mit Zähnchen oder Rippen besetzte harte Flächen werden gegen eine harte Kante oder Fläche gerieben (z. B. cutikulare Platten und Leisten von Arthropoden oder Kiefer und Flossenstrahlen von Fischen).

Blasorgane: Membranen oder Lippen werden durch strömende Luft in Schwingungen versetzt (z. B. Larynx oder Syrinx von Wirbeltieren oder Blaselaute bei Insekten durch die Tracheenluft).

Trommelorgane: z. B. von einem Luftsack unterlagerte cutikulare Platten von Zikaden können von Muskeln in rascher Folge eingebult werden und sich durch ihre Elastizität wieder einebnen. Auch bei manchen Fischen (Knurrhahn, Trommelfisch) werden die Wände der Schwimmblase durch Muskeln in Schwingungen versetzt.

3. Die Entwicklung des Vertebratenschädels

Die Entwicklung des Wirbeltierschädel ist ein sehr schönes Beispiel für Evolution und zeigt vor allem wie frei werdende Teile einerseits durch Umwandlung andere Funktionen übernehmen aber auch wie sich die Phylogenie im Laufe der Ontogenie wiederholt. Sie wird von zahlreichen Autoren (z. B. Campbell, N.A. 1997; Hadorn, E. & Wehner, R. 1974; Klinke, R. 1983; Remane, A. et al., 1981; Romer, A. & Parson, T. 1991; Siewing, R.

1980) beschrieben, ich möchte mich hier aber an Remane, A. et al. (1981, 456ff.) halten.

Der Wirbeltierschädel entsteht in komplizierter Weise aus drei verschiedenen Bereichen, dem Neurocranium, dem Viscerocranium und dem Dermatocranum. Für die hier bearbeitete Fragestellung ist nur das Viscerocranum, das aus paarigen Spangen zwischen den Kiemenspalten besteht und den Kiemenkorb bildet, von Interesse. Vor allem dessen Teile werden im Laufe der Entwicklung tiefgreifend abgeändert und erfüllen neue Funktionen.

Der Visceralbogen (Kiemenbogen) besteht aus Pharyngo-, Epi-, Cerato-, Hyper- und Basibranchiale, wobei die Pharyngobranchialia doppelt sind und vorne mit dem Neurocranium in Kontakt treten.

Kieferbogen und Hyoidbogen sind umgewandelte Visceralbögen und erst der dritte ist ein echter Branchialbogen.

Der Kiefer- oder Mandibularbogen besteht aus dem oberen Palatoquadratum und dem unteren Mandibulare. Träger der Zähne sind bedeckende Hautknochen. Das Palatoquadratum entspricht dem Epibranchiale und aus ihm entsteht in der Gelenksregion als Knochen das Quadratum. Das Mandibulare entspricht dem Ceratobranchiale und ein verknöcherter Teil davon ist das Articulare.

Quadratum und Articulare bilden das Primäre Kiefergelenk. Sie wandern bei Säugern ins Mittelohr und werden zu Hammer und Amboß.

Der Hyoidbogen ist in seinem oberen Teil einem starken Funktionswechsel unterworfen. Die Hautspange (Hyomandibula) wird bei Haien und Actinopterygiern zur Befestigungsstange zwischen dem Neurocranium und dem Kiefergelenk (Kieferstiell).

Bei den Tetrapoden wird dieser Knochen in den Spritzlochkanal, der nun zum Mittelohr umgebaut wird, zum 1. Gehörknöchelchen dem Steigbügel (= Columella) umgestaltet, dessen innerer Teil im ovalen Fenster liegt. Der untere Teil des Hyoidbogens wird zunehmend selbstständig und wird bei den Tetrapoden zum vorderen Teil des Zungenbeins.

Die Branchialbögen entsprechen zahlenmäßig den Kiementaschen, sie werden also in ihrer Phylogenie geringer. Sie verschwinden aber nicht mit dem Verlust der Kiemenatmung bei den Tetrapoden, sondern beteiligen sich am Zungenbein.

4. Zweck von Lautäußerungen und Hören

Um zu sehen, wo die Selektion ansetzen kann, beziehungsweise wo aufgrund bestimmter äußerer Gegebenheiten Druck auf die Lautäußerungs- und Gehörsysteme ausgeübt wird, und das Individuum dadurch gezwungen wird, sich im Laufe der Evolution daran anzupassen, muß man genauer

betrachten, zu welchem Zweck und wann es bei Tieren zu Lautäußerungen oder der Benutzung des Gehörs kommt.

Viele Tiere hören wesentlich höhere und wesentlich tiefere Töne als wir Menschen, andere wiederum haben einen begrenzteren Frequenzumfang. Das selbe gilt natürlich auch für die Lautstärke. Für eine Tierart, welche akustische Signale nur in einem bestimmten Frequenzumfang empfangen kann, haben sich entwicklungsgeschichtlich vorwiegend der Verständigung dienende Lautäußerungen entwickelt, die demselben Frequenzumfang entsprechen (Hagen W. & Hagen H., 1991).

Im folgenden soll nach Hagen W. & Hagen H. (1991) gezeigt werden, welche Verhaltensweisen im Tierreich mit Lautäußerungen und Hören verbunden sind.

a) Verständigung unter Konkurrenten

Imponierverhalten

Drohverhalten

Ritualisiertes Kampfverhalten

b) Auseinandersetzungen zwischen Artgenossen

Rangordnung (Rangdarstellung, Rangfestlegung)

Territorialität (Markieren, Verständigung)

Rivalität (Führungsqualität in der Rangordnung, Rangerhöhung ohne Kampf)

c) Werbung und Paarbildung

Akustische Verständigung bei Werbung (Große Panda geben durch Laute ihr Geschlecht bekannt; Buckelwalweibchen beurteilen Männchen nach ihrem Gesang)

d) Langfristige Paarbindung

Akustische Verständigung (Kaiserpinguine erkennen sich unter 20.000 Individuen)

e) Eltern-Kind-Beziehung

Vor Geburt (Säuger hören Herz der Mutter, Vögel klopfen schon im Ei)

Nach Geburt (Stimme kann wie das Kindchenschema Auslöser sein)

f) Gruppenbindung

Funktionierendes Warnsystem

Gruppenbildende Rufe und Gesänge (Duette von Gibbons, Bartvögeln, Würgern)

g) Nahrungserwerb

Aufbruch und Hinführen zum Nahrungsgebiet (Hyänen rufen zu Sammelplatz, laufender Jagd und erlegter Beute)

h) Warnung

Vor Freßfeinden

Drohverhalten

5. Ausgewählte Beispiele

Da Hören und Lautäußerungen bei Arthropoden und Wirbeltieren sehr weit verbreitet sind und ein vollständiges Aufarbeiten des Themas den vorgegebenen Rahmen bei weitem übersteigen würde, sollen im folgenden nur einige ausgewählte Beispiele dargestellt werden.

5.1 Vögel

Vögel haben sehr differenzierte Lautäußerungen. Die Betonung der akustischen Kommunikation hängt einerseits mit der Lebensweise dieser Tiere und andererseits mit der schwachen Entwicklung ihres Geruchssinnes zusammen (Siewing, R. 1980). Im Gegensatz zu anderen Vertebraten haben die Vögel neben dem Larynx an der Gabelung der Luftröhre in die beiden Bronchien die im Tierreich einmalige Syrinx. Durch dessen paarigen Aufbau können Vögel gleichzeitig zwei verschiedene Laute erzeugen. Ihr Larynx hat keine Stimmbänder und spielt daher höchstens eine untergeordnete Rolle. Morphologisch gibt es drei verschiedene Typen von Syrinx. Als einzige Strukturen geraten die Paukenhäute in tonfrequente Schwingungen. Die Lautstärke hängt vom Druck des Luftstromes ab, welcher je nach dem an der Syrinx zu überwindenden Widerstand bei vergleichbaren Lauten ganz unterschiedlich hoch sein kann. Die Dauer hängt vom Verbrauch des vorhandenen Luftstromes ab (z. B. Feldschwirl 95 sec). Eine zusätzliche Möglichkeit zur Lauterzeugung sind Instrumentalaute, wie Schnabelknacken, Trommeln oder Fluggeräusche (Bezzel, E. & Prinzinger, R. 1990).

5.1.1 Lautäußerungen

Die meisten Lautäußerungen liegen im Bereich von 0 bis 8 KHz. Man unterscheidet prinzipiell Rufe und Gesänge, wobei eine genaue Unterscheidung – vor allem in ihrer Funktion – nicht immer möglich ist.

Bei den Lautäußerungen unterscheiden Bezzel, E. & Prinzinger, R. (1990, 265):

- a) Elemente
 - kleinste durch Intervalle begrenzte Einheiten
- b) Phrasen
 - meist rhythmische Folgen von typgleichen Elementen
- c) Motive
 - zusammenhängende Folgen von mehreren typverschiedenen Elementen
- d) Strophen

zusammenhängende Folgen von Elementen, Silben, Phrasen oder Motiven.

Rufe sind im allgemeinen kurz und bestehen aus einem oder wenigen Elementen. Bei Singvögeln kennt man bis zu 20 verschiedene Formen, welche bei Bezzel, E. & Prinzingier, R. (1990, 269) wie folgt aufgelistet werden:

- a) Aggressives Verhalten gegenüber Artgenossen und Artfremden
Drohen, Abwehr, Angriff, Schmerz
- b) Feind in der Nähe
Artgenosse in der Gewalt des Beutefeindes, Bodenfeind, sitzender Luftfeind, jagender Luftfeind, Verleiten, Brutschmarotzer in Nestnähe
- c) Friedliches Verhalten zwischen Partnern
Männchen ohne Weibchen, Stimmfühlung, Zusammenrücken, Begrüßung, Betteln, Balz, Nestzeigen, Begattung, Brutablösung, Futterübergabe
- d) Friedliches Verhalten unter Artgenossen
Vor dem Abflug, beim Abflug, während des Fluges, vor dem Landen, auf dem Zug, Entdeckung einer Futterquelle
- e) Junge untereinander oder gegenüber Eltern
Junge im Ei, Betteln, Verlassen sein, Kälte, Kontakt halten, Standortzeigen
- f) Eltern gegenüber Jungen
Füttern, mit Futter locken, Führen, Hudern
- g) Spezielle Formen
Echopeilung (Fettschwalm), Rufe des Honiganzeigers

Gesänge sind aus vielen Untereinheiten zusammengesetzte Lautäußerungen, welche in der Regel auch komplizierter gebaut sind als Rufe. Schon im Aufbau der Strophen ergeben sich zahlreiche Variationsmöglichkeiten. Ihre allgemeine Funktion ist die Übermittlung von Informationen zur Arterkennung. Sympatrische Zwillingssarten, wie zum Beispiel Fitis und Zilpzalp unterscheiden sich oft sehr deutlich in ihrem Gesang. Der Gesang übernimmt aber auch sehr stark soziale Funktionen. Man denke nur an Reviermarkierung und Verteidigung, das Anlocken von Weibchen, welche den Partner oft nach der Qualität des Gesanges auswählen, den Zusammenhalt der Paare, gegenseitige Stimulation oder die Synchronisation der Partner eines Paares bei der Balz. Ein wichtiger selektiver Faktor in der Ausformung des Gesanges ist die Biotopakustik. Der Vogel muß sich nicht nur in seinem Singverhalten, sondern auch in den Frequenzen und der Lautstärke an die Strukturen seines Singraumes anpassen. Diese Anpassungen erfolgten bei unterschiedlichen Taxa durch konvergente Entwicklungen (Bezzel, E. & Prinzingier, R. 1990).

5.2 Wale

Wie die Wale ihre Laute erzeugen, ist noch nicht völlig klar, aber man nimmt an, daß sie dies mit Hilfe ihres Nasenapparates tun. Dieser Komplex ist zumindest Teil eines komplizierten Radarsystems, einer Art Sonar. Man weiß zumindest, daß der Kehlkopf der Zahnwale keine Stimmbänder besitzt und daher auf jeden Fall ein anderer Mechanismus zur Lauterzeugung eingesetzt werden muß. Die Ultraschallsignale sind Schwingungen in den Weichteilen des Kopfes, wobei auch die „Melone“ mitverwendet wird. Ob der Kehlkopf als Ventil oder die Nase mit den Lippen die Geräusche machen, ist noch umstritten. Zwischen 5 und 20 KHz gibt es im Meer große Hintergrundgeräusche, daher entwickeln in Anpassung an diese Situation die Zahnwale darüberliegende und die Bartenwale darunter liegende Frequenzen (Deimer, P. 1991).

Delphine äußern sich innerhalb eines sehr weiten Frequenzspektrums, welches bis zu 200 KHz erreichen kann. Deimer, P. (1991) unterscheidet zwei verschiedene Typen. Klicklaute mit hohen Frequenzen dienen zur Orientierung und zur Nahrungsortung, komplizierte Pfeiftöne in Form von Liedern und Sprache dienen zur sozialen Kommunikation.

Als Besonderheit möchte ich hier noch auf die Gesänge der Buckelwale eingehen, welche von Deimer, P. (1991), Ellis, R. (1993) und Payne K. & Payne R. (1985) beschrieben wurden. Ihre inter- und intraindividuelle Variabilität ist herausragend und wird außer vom Menschen von keinem anderen Tier so stark gewechselt. Die Dauer der Gesänge liegt zwischen 8 und 16 Minuten und die große Vielfalt der Gesänge zwischen 30 und 4.000 Hz mit mindestens 3 Oktaven besteht aus einfachen und komplizierten harmonischen Strukturen, welche hierarchisch gegliedert sind. Wiederholte Einheiten ergeben Phrasen. Mehrere Phrasen bilden Themen (typischerweise 5–9) und Sequenzen von Themen ergeben den Gesang. Sogenannte „Gesangssessionen“ entstehen durch Serien von Gesängen. Bei den Themen unterscheidet man verschiedene Typen (Statische Themen, Wechselthemen und Themen ohne Muster).

Die Buckelwale singen zwar in jedem Jahr das gleiche, aber über die Jahre ändern sich die Gesänge deutlich. Alle Gesänge haben den gleichen Grundaufbau. Intra- und interindividuelle Unterschiede sind kleiner als die Unterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Jahren. Wenn die Buckelwale vom Norden zum Äquator ziehen, haben sie noch die selben Strophen, aber dann werden neue hinzugefügt. Jedes Jahr lernen alle Individuen einer Schule die neuen „Texte“ und „Noten“ und ausgeschiedene Phrasen werden nicht mehr verwendet. Für alle Schulen scheinen feste Kompositionen

regeln zu gelten und in den verschiedenen Meeresgebieten gibt es so etwas wie Dialekte.

5.3 Menschen

Die menschliche Sprache, welche Worte mit ganz bestimmten Inhalten hat, ist im Tierreich einmalig. Morphologisch möglich wird es durch ein eigenes Organ, den Kehlkopf. Der spezielle Bau, beziehungsweise die Lage dieses Organs in unserem Körper macht es möglich, daß wir sprechen können und die Schimpansen zum Beispiel dazu nicht fähig sind. Vor etwa 150.000 Jahren, als sich in Ostafrika der Homo sapiens entwickelte, kam es zum entsprechenden Umbau des Kehlkopfes. Bei den Neandertalern saß er zu hoch, was ihm das Sprechen noch unmöglich machte (Reichholf, J. 1997; Stringer, C. & McKie, R. 1996). Dafür kommt es, genauso wie bei Kleinkindern, zu einer guten Trennung von Speise- und Luftröhre wodurch das „verschlucken“ vermieden wird. Auch dies ist ein schönes Beispiel für die Wiederholung der Phylogenie in der Ontogenie.

5.4 Fledermäuse – Insekten

Die Fledermäuse haben ein Biosonarsystem im Ultraschallbereich entwickelt, um sich in ihrer nächtlichen Umgebung zu orientieren und um fliegende Beutetiere zu orten. Dadurch setzten sie den Evolutionsmotor in Gang und zwangen viele Insektengruppen ihre Hörleistungen zu verbessern und den Gegebenheiten anzupassen. Die Insektengruppen Lepidoptera, Neuroptera, Orthoptera, Dictyoptera und Coleoptera haben an unterschiedlichen Körperstellen durch parallele Evolution, also in konvergenter Form, ultraschall-sensitive „Ohren“, die sogenannten Tympanalorgane entwickelt und können nun durch akustische Schreckreaktion überleben (Hoy, R.R. 1992).

Literatur

- BEZZEL, E. & PRINZINGER, R. (1990): Ornithologie. UTB, Große Reihe. Ulmer Verlag. Stuttgart.
- BONNER, J. T. (1983): Kultur - Evolution bei Tieren. Paul Parey Verlag. Berlin - Hamburg.
- CAMPBELL, N. A. (1997): Biologie. Dt. Übers. Hrsg. Markl, J. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg - Berlin - Oxford.
- DEIMER, P. (1991): Das Buch der Wale. W. Heyne Verlag. München.
- ELLIS, R. (1993): Mensch und Wal. Droemer Knaur Verlag. München.

- HADORN, E. & WEHNER, R. (1974): Allgemeine Zoologie. Georg Thieme Verlag. Stuttgart.
- HAGEN, W. & HAGEN, H. (1991): Was Tiere sich zu sagen haben. Rasch und Röhrig Verlag. Hamburg.
- HOY, R. R. (1992): The Evolution of Hearing in Insects as an Adaption to Predation from Bats. In: The Evolutionary Biology of Hearing. Webster D. W., Fay R. R. & Popper A. N. (Eds.). Springer Verlag. New York - Berlin - Heidelberg - London - Paris - Tokyo - Hongkong - Barcelona - Budapest.
- KÄMPFE, L. (1992): Evolution und Stammesgeschichte der Organismen. UTB 1691. Gustav Fischer Verlag. Jena.
- KLINKE, R. (1993): Das Hörorgan des Vogels. Sitzungsberichte der wiss. Gesellschaft an der J. W. Goethe- Univ. Frankfurt/Main. Franz Steiner Verlag. Stuttgart.
- MÜLLER, W. A. (1995): Entwicklungsbiologie. UTB 1780. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart - Jena.
- PAYNE, K. & PAYNE, R. (1985): Large Scale Changes over 19 Years in Songs of Humpback Whales in Bermuda. Z. Tierpsychologie 68: 89-114.
- PENZLIN, H. (1977): Lehrbuch der Tierphysiologie. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart - New York.
- REICHHOLF, J. (1997): Das Rätsel der Menschwerdung. DTV - Verlag. München.
- REMANE, A., STORCH, V. & WELSCH, U. (1981): Kurzes Lehrbuch der Zoologie. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart - New York.
- ROMER, A. & PARSON, T. (1991): Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere. Paul Parey Verlag. Hamburg - Berlin.
- SIEWING, R. (1980): Lehrbuch der Zoologie. Bd. I: Allgemeine Zoologie. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart - New York.
- STEBBINS, W. C. & SOMMERS, M. S. (1992): Evolution, Perception, and the Comparative Method. In: The Evolutionary Biology of Hearing. Webster D. W., Fay R. R. & Popper A. N. (Eds.). Springer Verlag. New York - Berlin - Heidelberg - London - Paris - Tokyo - Hongkong - Barcelona - Budapest.
- STRINGER, C. & MCKIE, R. (1996): Afrika; Wiege der Menschheit. Limes Verlag. München.
- WEBSTER, D. W. 1992: Epilogue to the Conference on The evolutionary Biology of Hearing. In: The Evolutionary Biology of Hearing. Webster D. W., Fay R. R. & Popper A. N. (Eds.). Springer Verlag. New York - Berlin - Heidelberg - London - Paris - Tokyo - Hongkong - Barcelona - Budapest.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Matreier Gespräche - Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Wilheminenberg](#)

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: [1999](#)

Autor(en)/Author(s): Trauttmansdorff Josef

Artikel/Article: [Zur Evolution von Tongebung und Tonwahrnehmung
8-17](#)