

## Anmerkungen

- 1 Staatsbibliothek Berlin, Ms. germ. fol. 282, fol. XXIII.
- 2 Ausführlicher dazu: Karl Clausberg, »Spruchbandaussagen zum Stilcharakter. Malende und gemalte Gebärden, direkte und indirekte Rede in den Bildern der Veldeke-Äneide sowie Wernhers Marienliedern«, in: *Städel-Jahrbuch*, NF, Bd 13, Prestel, München 1991, S. 81–110.
- 3 Karl Clausberg, »Metamorphosen am laufenden Band. Eine kurzgefaßte Entwicklungsgeschichte der Sprechblase«, in: *Ästhetik des Comic, Tagungsbericht zur ersten internationalen Fachtagung der Arbeitsstelle für graphische Literatur an der Universität Hamburg*, Michael Hein et al. (Hg.), Erich Schmidt Verlag, Berlin 2002, S. 17–36.
- 4 Ausführlich zu den älteren Konzepten seit der Antike: Hans Adler (Hg.), *Synästhesie. Interferenz – Transfer – Synthese der Sinne*, Königshausen und Neumann, Würzburg 2002.
- 5 Hermann von Helmholtz, »Die Tatsachen in der Wahrnehmung« (1878), in: Hermann von Helmholtz, *Vorträge und Reden*, Bd. 2, 5. Aufl., Vieweg, Braunschweig 1903, S. 213–248, spez. S. 219–220.
- 6 Eugen Bleuler, Karl Lehmann, *Zwangsmäßige Lichtempfindungen durch Schall und verwandte Erscheinungen auf dem Gebiete der andern Sinnesempfindungen*, Fues, Leipzig 1881.
- 7 Richard E. Cytowic, *Synesthesia. A Union of the Senses*, 2. Aufl., The MIT Press, Cambridge Mass. 2002.
- 8 Théodore Flournoy, *Des Phénomènes de Synopsie (Audition Colorée). Photismes – Schèmes visuels – Personnifications*, Paris, Genf 1893.
- 9 *Ibid.*, S. 219f.
- 10 *Ibid.*, S. 219ff.
- 11 Albert Wellek, »Das Doppelempfinden in der Geistesgeschichte«, in: *Zeitschrift für Ästhetik und allgemeine Kunstwissenschaft*, Max Dessoir (Hg.), Bd. 23, 1929, S. 14–42.
- 12 *Ibid.*, S. 16.
- 13 *Ibid.*, S. 18 f.
- 14 Albert Wellek, *Doppelempfinden und Programmusik. Beiträge zur Psychologie, Kritik und Geschichte der Sinnenentsprechung und Sinnensymbolik*, Dissertation, Wien-Prag 1927, Maschinen-Manuskript der Universitätsbibliothek Wien. Ausführlich dazu: Gabriele Rösch, *Albert Wellek und die Synästhesieforschung in Hamburg*, Magisterarbeit, Lüneburg 2002.
- 15 Harold Rosenberg, *Saul Steinberg*, Ausstellungskatalog, Andre Deutsch in Zusammenarbeit mit dem Whitney Museum of American Art, New York 1979, spez. Chronologie by Saul Steinberg, S. 234ff.
- 16 Saul Steinberg, *The Labyrinth*, Harper & Brothers, New York 1960.
- 17 Cytowic, *ibid.*, S. 284ff.
- 18 Hinderk Emrich, Nachwort zu *ibid.*, S. 351.
- 19 Hinderk Emrich, Udo Schneider, Markus Zedler, *Welche Farbe hat Montag? Synästhesie: Das Leben mit verknüpften Sinnen*, Hirzel, Stuttgart 2002, S. 37ff.
- 20 Cytowic, *ibid.*, S. 285.
- 21 Ausführlicher dazu: Clausberg, *Metamorphosen*, *ibid.*
- 22 Karl Rosenkranz, *Ästhetik des Häßlichen*, Königsberg 1853.
- 23 Karl Clausberg, *Die Wiener Genesis. Eine kunstwissenschaftliche Bilderbuchgeschichte*, Fischer, Frankfurt am Main 1984.

## Die Stimme – aus biologischer Sicht

### W. Tecumseh Fitch

Die menschliche Stimme wird durch ein hoch entwickeltes Lauterzeugungssystem hervorgebracht, das zu bemerkenswerter Geschwindigkeit und Präzision in der Lage ist (wie beim schnellen Sprechen), aber auch zu subtiler Schönheit (wie beim Gesang). Trotz seiner hoch spezialisierten Entwicklung hat der Stimmapparat des Menschen uralte Wurzeln, und seine grundlegenden organischen Bestandteile – Lunge, Kehlkopf und Vokaltrakt – haben wir mit den meisten anderen landlebenden Wirbeltieren gemeinsam. So kann die Erforschung der Stimmfunktion anderer Wirbeltiere dazu dienen, unser Verständnis der menschlichen Stimme zu vertiefen. Sogar Lungenfische (die Gruppe der Luft atmenden Fische, die uns am nächsten verwandt ist) haben noch einen rudimentären Kehlkopf, der Laute erzeugen kann. Die meisten Tiere mit höher entwickelten stimmlichen Fähigkeiten, wie Vögel und Delphine, bildeten »neue« Lauterzeugungssysteme aus und besitzen besondere Stimmorgane im Brustkorb oder in der Nase, über die andere Wirbeltiere nicht verfügen. Im Gegensatz dazu folgt der Stimmapparat des Menschen entwicklungsgeschichtlich einem vergleichsweise alten, traditionellen Aufbau und ähnelt im Grunde eher den Stimmorganen von Fröschen oder Krokodilen. Die hochentwickelten Fähigkeiten der menschlichen Stimme scheinen also mehr auf Veränderungen im Gehirn als in den Stimmorganen selbst zu beruhen.

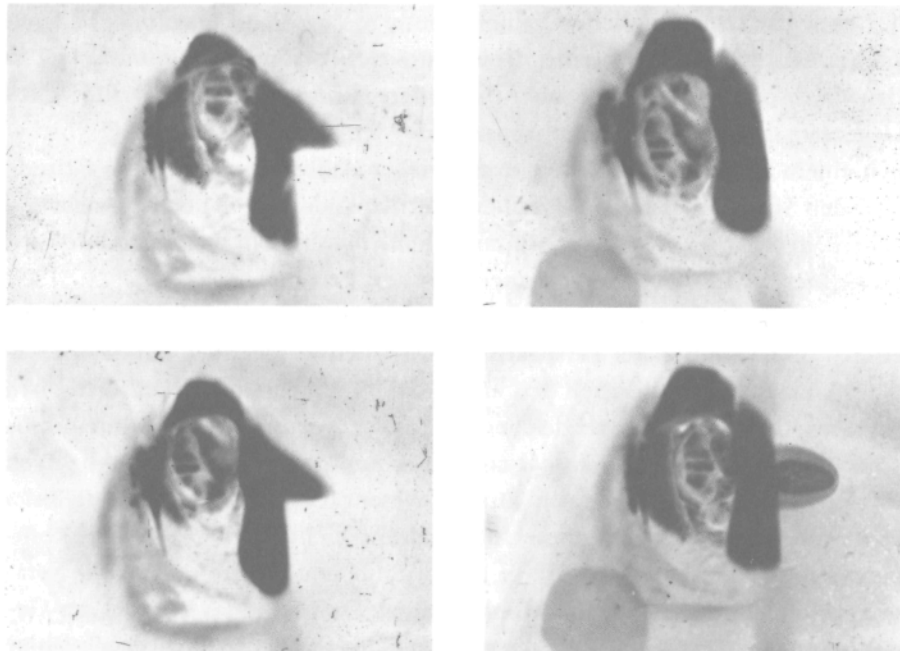
Die Stimme ist ein vielseitiges Phänomen, das ich hier jedoch nur aus biologischer und evolutionärer Perspektive beschreiben werde. Auch auf die vielfältigen Unterschiede zwischen den menschlichen Sprachen und musikalischen Kulturen, Gegenstand der vergleichenden Sprachwissenschaft, der Kulturanthropologie und der ethnomusikologischen Forschung, sowie auf die reichhaltigen rhythmischen und emotionalen Effekte, wesentlich für die Bedeutung eines Liedes oder Gedichts, geht diese Untersuchung nicht ein. Ich lasse viele komplexe Fragen der Sprache und ihrer Evolution beiseite, weil menschliche Sprache als solche nicht von Stimme abhängig ist: Dies zeigt das Beispiel der Gebärdensprache der Gehörlosen, die eine voll ausgebildete und ausdrucksfähige Sprache ist und ohne stimmliche Fähigkeiten funktioniert. Zudem umfasst der Begriff »Stimme« sowohl den Gesang als auch das Sprechen und lässt somit viele interessante und wichtige Unterschiede zwischen Musik und Sprache

unberücksichtigt. Dieser kurze Essay will keine umfassende Einführung in die Biologie der Stimme geben, sondern einzelne interessante Stichpunkte herausgreifen: zunächst einige allgemeine Grundlagen der Bioakustik, weiterhin einen Überblick über Variationen der Stimmbildung bei verschiedenen Tierarten, und schließlich einige Überlegungen dazu, warum wir Menschen das Sprechen und Singen erlernen.

#### Wie die Stimmen von Wirbeltieren funktionieren: Schallquelle und Filter

Die vier Klassen der landlebenden Wirbeltiere – Amphibien, Reptilien, Säugetiere und Vögel – werden als »Tetrapoden« zusammengefasst. Sie besitzen ein grundlegend ähnliches Atmungs- und Lautbildungssystem mit Lungen, Kehlkopf und Vokaltrakt. (Einige wasserlebende Tiere, wie Wale und Robben, gehören ebenfalls zu den Tetrapoden und brauchen Luft zum Atmen.)

Die meisten landlebenden Wirbeltiere wenden den gleichen Mechanismus an, um Laute zu erzeugen. Das allgemeine Prinzip der Lauterzeugung bei Tetrapoden funktioniert so, dass ein Luftstrom aus der Lunge über bestimmte



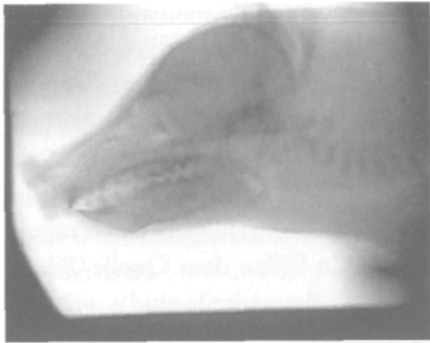
Johann Nepomuk Czermak, vier stereophotographische Aufnahmen der Stimmlippen, 1861, Archiv der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, J.N. Czermak, 628 1861 versiegeltes Schreiben 24

Czermak (1828–1873), Laryngologe der »Wiener Schule«, gelang es erstmalig, die Stimmbänder bei der Vibration fotografisch festzuhalten.

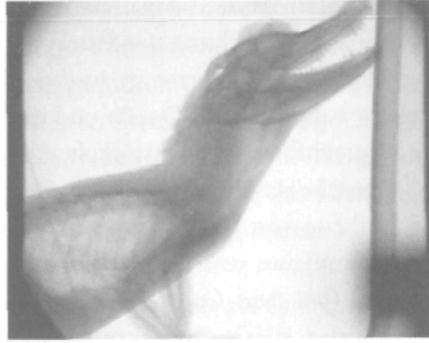
kleine Gewebepartien streicht (typischerweise die Stimmbänder im Kehlkopf), die dadurch schnell zu vibrieren beginnen. Diese Vibrationen erzeugen den Schall, das vibrierende Gewebe wird daher Schallquelle genannt. Bei Fröschen, Reptilien und den meisten Säugetieren, wie auch beim Menschen, sind die Stimmbänder im Kehlkopf die Schallquelle. Bei den Vögeln dient eine andere Struktur, »unterer Kehlkopf« oder Syrinx genannt, als Schallquelle.

Die Geschwindigkeit, mit der das Gewebe vibriert, die »Grundfrequenz«, bestimmt weitgehend die Tonhöhe einer Stimme: Hohe Stimmen entstehen durch schnelle Vibrationen, tiefe Stimmen durch entsprechend langsamere Vibrationen. Die Geschwindigkeit der Vibrationen wird in Hertz (Hz) gemessen, womit einfach die Zahl der Zyklen pro Sekunde angegeben wird (eine Uhr tickt zum Beispiel mit der Geschwindigkeit 1 Hz). Das Gewebe, das die Schallquelle der Stimme bildet, kann bei verschiedenen Tierarten mit sehr unterschiedlichen Geschwindigkeiten vibrieren. So können Wale und Elefanten Töne erzeugen, die tiefer sind als alles, was ein Mensch hören kann (den so genannten Infraschall, unter ca. 20 Hz), während Fledermäuse, Nagetiere und viele andere Säugetiere Töne oberhalb des für den Menschen hörbaren Bereichs erzeugen (der Ultraschall, über 20.000 Hz oder 20 kHz). Das Spektrum der menschlichen Stimme ist dagegen vergleichsweise schmal: Erwachsene Männer sprechen mit einer Grundfrequenz von ungefähr 100 Hz, die Stimmen von Kindern können bis über 400 Hz reichen. Die höchste musikalisch verwendbare Note im Gesang einer Koloratursopranistin liegt bei etwa 1400 Hz. Beim Singen erhöht sich die Tonhöhe (die Geschwindigkeit, mit der die Stimmbänder vibrieren), indem die Kehlkopfmuskulatur stärker angespannt wird.

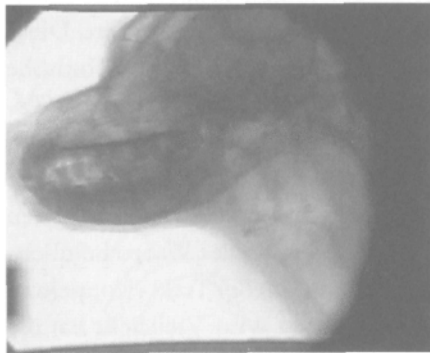
Die gerade beschriebene Form der Lautbildung wird »Phonation« genannt. Phonation wird durch gleichmäßig vibrierendes Gewebe erzeugt und ist die häufigste Art der Lauterzeugung bei Wirbeltieren. Der Stimmapparat eines Wirbeltiers kann aber auch andere Arten von Lauten erzeugen. Zischlaute entstehen beispielsweise, wenn Luft durch einen schmalen Spalt zwischen den Stimmbändern gepresst wird und Turbulenzen erzeugt, die als Rauschen hörbar sind. Dies geschieht ohne Vibrieren des Gewebes und ohne Grundfrequenz, also ohne klar definierte Tonhöhe. Das Zischen ist vermutlich die älteste Form der Lautbildung: alle Klassen landlebender Wirbeltiere können zischen, und selbst Lungenfische erzeugen Zischlaute. Beim Menschen geschieht die Lauterzeugung beim Flüstern auf dieselbe Weise wie beim Zischen, daher gibt es auch keine Tonhöhe (versuchen Sie einmal, flüsternd ein Lied zu singen). Laute können aber auch an anderen Stellen als im Kehlkopf erzeugt werden. So wird beispielsweise der »sch«-Laut durch Luftturbulenzen vor dem Mund statt im



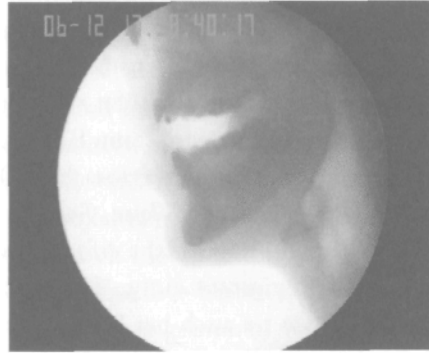
Schwein



Krokodil



Hund



Mensch

Zum Atmen öffnet er den Durchlass, beim Schlucken verschließt er ihn. Diese Funktion macht den Kehlkopf auch für die Lauterzeugung geeignet, wie wir bei den Lungenfischen sehen, die manchmal ein zischendes Geräusch von sich geben, wenn sie Luft aus ihren Lungen lassen, und auch quiekende und rülp-sende Laute erzeugen können. Seit diesen rudimentären Anfängen vor mehr als 300 Millionen Jahren haben die Tetrapoden vielfältige Anpassungen des Kehlkopfs entwickelt.

#### Systemvariationen der Lauterzeugung

Wie schon gesagt, ist das Lauterzeugungssystem des Menschen im Hinblick auf die Evolutionsgeschichte relativ konservativ und mit dem der meisten anderen Tetrapoden vergleichbar. Dennoch gibt es einige Eigenheiten des menschlichen Stimmapparats, und betrachtet man andere Wirbeltiere, lässt sich eine erstaunliche Vielfalt von Variationen feststellen. Auch die Lungen der Tetrapoden wei-

sen bemerkenswerte Unterschiede auf<sup>3</sup>, doch scheinen die meisten dieser Unterschiede keine Auswirkungen auf die Lauterzeugung zu haben. Die Variationen in den Stimmorganen unterteilen sich danach, ob sie der Quelle oder dem Filter zuzuordnen sind. Die Position der Schallquelle ist das auffälligste Merkmal der unterschiedlichen Lauterzeugungssysteme bei Tetrapoden. Zwei große Gruppen der Wirbeltiere, Vögel und Meeressäuger haben ganz eigene Schallquellen entwickelt. Vögel erzeugen Laute mit Hilfe eines neu entwickelten Organs, der Syrinx, die am unteren Ende der Lufttröhre tief im Brustkorb liegt; den ebenfalls vorhandenen Kehlkopf benutzen sie anscheinend nicht zur Lauterzeugung. Nur Vögel besitzen eine Syrinx. Anders als der Kehlkopf des Menschen, der eine doppelte Funktion erfüllt (die Atemwege zu schützen und Stimmlaute zu erzeugen), dient die Syrinx der Vögel nur der Lauterzeugung. Dank dieser Freiheit stellt sie das am vielfältigsten entwickelte Stimmorgan im gesamten Reich der Wirbeltiere dar. Die vielfältigen Formen der Syrinx-Variationen wurden von Taxonomen (Biologen, die Verwandtschaftsbeziehungen zwischen verschiedenen Tierarten erforschen) detailliert beschrieben. Eine wesentliche Unterscheidung besteht zwischen Einzelquellen- und Doppelquellen-Syringen. Ungefähr die Hälfte aller Vogelarten, darunter Papageien, Enten, Möwen, Hühner und viele andere große Vögel verfügen über eine Einzelquellen-Syrinx, die normalerweise nur eine Tonhöhe gleichzeitig erzeugt. Dagegen haben Singvögel, die größte und bekannteste Gruppe der Vögel, eine Doppelquellen-Syrinx mit zwei unabhängig gesteuerten Membransystemen. Damit können diese Vögel buchstäblich im Duett mit sich selbst singen: Während die eine Seite der Syrinx eine Tonhöhe erzeugt, kann die andere Seite gleichzeitig eine andere Tonhöhe hervorbringen. Neben dieser grundsätzlichen Unterscheidung lassen sich vielfältige Variationen in der Struktur und Anzahl der Muskeln in der Syrinx, in der Beschaffenheit und Identität der Membranen, und in manchen eigenartigen Auswüchsen und Erweiterungen der Syrinx feststellen.<sup>4</sup> Die hochgradig variierte Anatomie der Vögel ist also relativ gut erforscht, doch der funktionalen Bedeutung dieser Variationen und dem Zusammenhang mit der großen Vielfalt des Vogelgesangs wird bis heute erst ansatzweise von Bioakustikern nachgegangen.

Eine zweite, faszinierend »neue« Schallquelle entwickelte sich in den nasalen Atemwegen von Meeressäugern, insbesondere jenen der Zahnwale. Zu dieser Gruppe zählen alle Delfine, Killerwale (Orcas), Weißwale (Belugas), Pottwale und viele andere Walarten. Alle Wale stammen von landlebenden Urahnen, frühen Säugern, ab und sind evolutionär ebenso weit von Fischen entfernt wie Menschen. Die Zahnwale sind Fleischfresser und verfügen über eine hoch ent-

wickelte Technik der Echolokation (Schallortung): Sie benutzen den Schall, um ihre Beutetiere und die Unterwasser-Umgebung zu »sehen«. Bei ihren größten Verwandten, den Bartenwalen, ist die Echolokation offenbar weniger hoch entwickelt. Zwar sind alle Säugetiere zu einer rudimentären Form der Schallortung fähig – zum Beispiel kann eine Katze oder ein Mensch aufgrund von Geräuschen gewisse Aufschlüsse über die unmittelbare Umgebung gewinnen, blinde Menschen können diese Fähigkeit intensiv nutzen, doch Fledermäuse, Wale und Delphine sind die einzigen Säugetiere, die ihre Schallortung ebenso weit (oder noch weiter) entwickelt haben wie ihre visuelle Wahrnehmung. Jedes Kind, das mit dem Echo einer Felswand spielt, lernt schnell, dass nicht alle Geräusche gleich klare Echos erzeugen. Allgemein erzeugen laute Geräusche die stärksten Echos und breitbandige, hochfrequente Töne liefern detailliertere Informationen über andere Objekte. Die Selektion zugunsten dieser Laute hat bei den Zahnwalen zur Entwicklung des nasalen Bursa-Systems geführt – ein Komplex von Muskeln, Schläuchen und Luftsäcken um die eigentlich Schall erzeugenden Organe, die auch als »Affenlippen« bekannt sind. Dieser Organkomplex erzeugt sehr laute, breitbandige Klick-Geräusche, die bis in den Ultraschallbereich reichen und deren Echos den Tieren, die über ein exzellentes Gehör verfügen, auch in der Dunkelheit oder in trübem Wasser ein exaktes Bild der Umgebung liefern. Neben diesen »Echolokations-Klicks« können Zahnwale eine Vielzahl von pfeifenden, meckernden oder quiekenden Lauten hervorbringen, deren anatomischer Ursprung noch ungeklärt ist.

Während Vögel und Zahnwale bei der Evolution der Stimmorgane eine völlig neue Richtung einschlugen und neue Schallquellen entwickelten, erfuhr auch die traditionelle Schallquelle der Tetrapoden, der Kehlkopf, eine Vielzahl detaillierter Variationen – insbesondere bei den Säugetieren. Eine Form der Entwicklung bei den Säugetieren ermöglicht die Erzeugung von hochfrequenten Tönen bis hin zum Ultraschall. Säugetiere können höhere Töne wahrnehmen als Vögel und Reptilien, und viele Säugetierarten haben unabhängig voneinander die Fähigkeit entwickelt, Töne in diesem »privaten« hochfrequenten Klangspektrum zu erzeugen. Zum Beispiel können bei vielen Nagetieren die Jungtiere Hilferufe im Ultraschallbereich ausstoßen, die das Muttertier hören kann, während sie für Raubtiere oder Reptilien, die möglicherweise diese Tiere jagen, unhörbar bleiben. Fledermäuse erzeugen zur Schallortung Ultraschall-Laute, weil sie ein schärferes akustisches Bild ergeben, das die Tiere benötigen, um die kleinen Insekten zu entdecken und zu identifizieren, von denen sie sich ernähren. Um solche Ultraschall-Laute zu erzeugen, haben manche Säugetierarten Erweiterungen der Stimmbänder ausgebildet, so genannte »Stimm-

Membranen«, die speziell für die Erzeugung hochfrequenter Töne geeignet sind. Die Stimmbänder von Affen können offenbar mit niedriger Frequenz vibrieren, wobei das gesamte Stimmband in Bewegung versetzt wird. Dagegen erzeugt die Vibration der dünnen, leichtgewichtigen Stimm-Membranen hochfrequente Laute. Bei Fledermäusen vibrieren zur Schallortung im Allgemeinen nur die Stimm-Membranen, die ausgestoßenen Laute liegen im Ultraschallbereich, so hoch, dass Menschen sie nicht hören können. Zum Glück, denn die Schallortungsrufe sind extrem laut, und könnten wir sie hören, würde aus einem stillen Sommerabend, sobald Fledermäuse auf der Jagd sind, eine ohrenbetäubende Kakophonie.

Andere Tierarten haben die Fähigkeit entwickelt, extrem tiefe Laute hervorzubringen. Die selektiven Gründe hinter diesem evolutionären Trend sind unter anderem Aggressionsverhalten, Partnerwerbung oder Kommunikation über weite Entfernungen. So entstanden einige der eindrucksvollsten (und manchmal furchterregendsten) Laute im ganzen Tierreich. Weil große Körper langsamer vibrieren als kleine, bringen große Tiere oft die tiefsten Laute hervor. Elefanten (die größten landlebenden Tiere der Gegenwart) und Bartenwale (die größten Tiere, die jemals lebten) können beispielsweise Infraschall-Rufe erzeugen, die unterhalb des für Menschen hörbaren Spektrums liegen. Diese Laute haben den Vorteil, dass sie sich unter günstigen Umweltbedingungen über sehr weite Distanzen ausbreiten können: Die Infraschall-Rufe der Elefanten können Entfernungen von mehreren Kilometern überbrücken, die Unterwasser-Rufe von Blauwalen und Finnwalen sogar mehrere hundert Kilometer. Unter idealen Bedingungen kann das tiefe Brummen eines einzelnen großen Wals sogar ein ganzes Ozeanbecken ausfüllen.

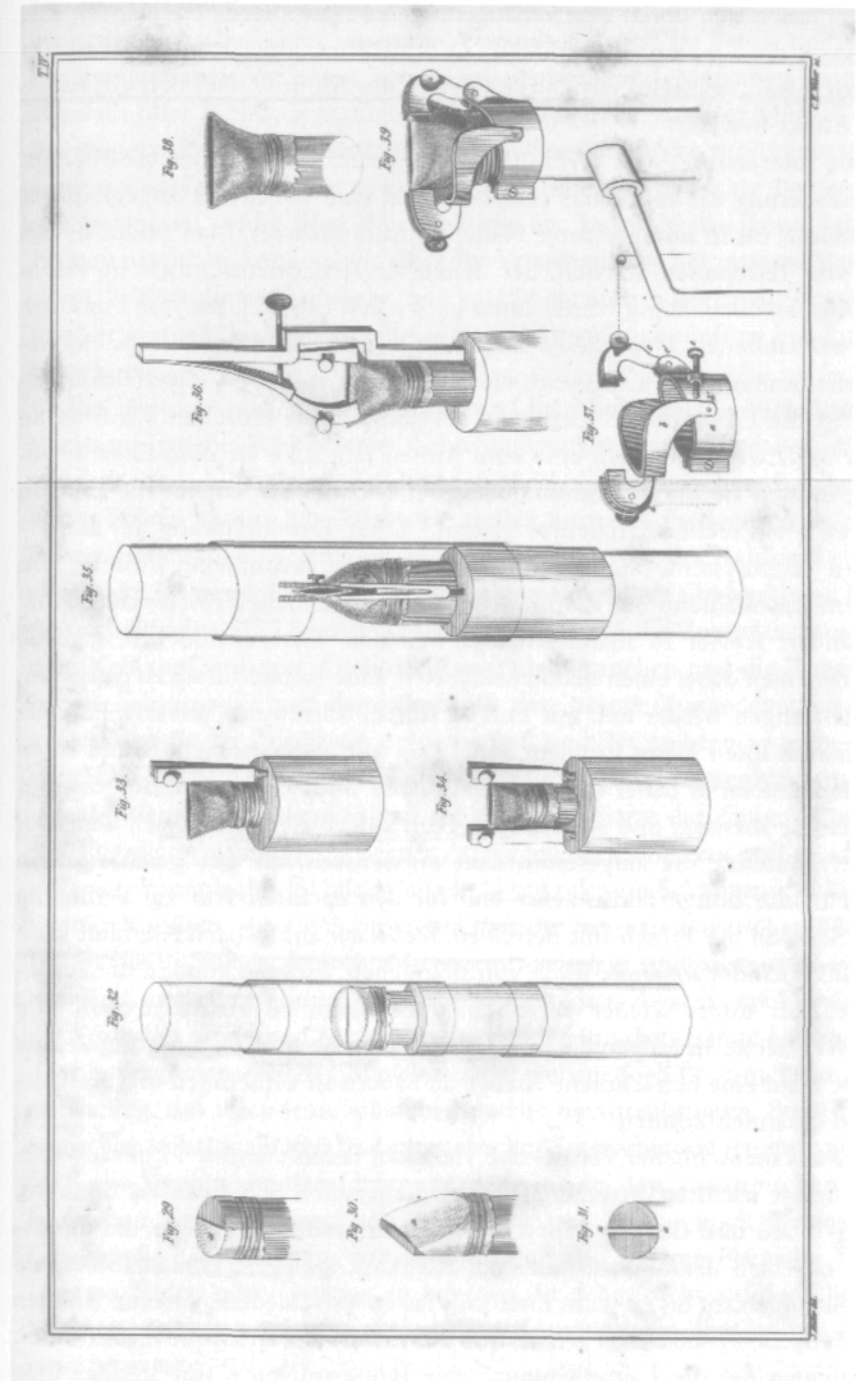
Andere, etwas kleinere Tierarten, wie Großkatzen, einige Fledermausarten und einige Affenarten können durch eine Vergrößerung des Kehlkopfs eindrucksvolle tieffrequente Laute hervorbringen. Bei den Brüllaffen sind Kehlkopf und Zungenbein so vergrößert, dass sie den gesamten Raum unterhalb des Kinns ausfüllen. Beim männlichen Hammerkopf-Flughund (eine Fledermausart, scherzhaft auch »fliegender Kehlkopf« genannt) ist der Kehlkopf in den Brustkorb abgesenkt, den er ganz ausfüllt, so dass Herz und Lunge in die Bauchhöhle verdrängt sind. Eine vom Prinzip her ähnliche, aber bei weitem nicht so drastische Veränderung ist beim Menschen bekannt, wo bei pubertierenden Jungen der Kehlkopf unter dem Einfluss des Testosteron-Hormons überproportional anwächst, so dass sich die effektive Länge der Stimmbänder verdoppelt. Das unterschiedliche Wachstum des Kehlkopfs und die daher rührenden tieferen Stimmen von Männern sind nur bei wenigen anderen Säuge-

tierarten bekannt. Löwen und andere Großkatzen erzeugen ihr lautes, tiefes Brüllen mit Hilfe zusätzlicher großer Lappen über den Stimmbändern, die den leichtgewichtigen Stimm-Membranen der Fledermäuse ähneln, sich aber zu massiven Falten entwickelt haben.

Die kleineren Verwandten der Löwen, die Hauskatzen, erzeugen ihr niederfrequentes Schnurren dagegen auf völlig andere Weise. Das Schnurren ist einer der wenigen bekannten Tetrapoden-Stimmlaute, die aus einer »aktiven Phonation« entstehen. Die meisten Formen der Phonation, einschließlich des Sprechens und Singens, sind neural passiv, das heißt, die Phonation bedarf keiner weiteren Nervenimpulse, abgesehen von dem Signal, die Kehlkopfmuskeln so anzuspannen, dass die Stimmbänder zur Lauterzeugung bereit sind. Das bedeutet, dass auch der Kehlkopf eines toten Tieres noch Laute erzeugt, wenn man ihn aus dem Körper herauslöst, Luft hindurchbläst und zugleich die Stimmbänder zusammenpresst. Im Gegensatz dazu ist bei der aktiven Phonation einer schnurrenden Katze jeder Schallimpuls mit einer jeweiligen Kontraktion der Muskeln im Stimmapparat verbunden.<sup>5</sup>

Eine zweite große Kategorie der Modifikationen des Stimmapparats umfasst Veränderungen des Vokaltrakts, also der Filter-Komponente des Lauterzeugungssystems. Vögel verfügen über die einfachste Möglichkeit zur Verlängerung des Vokaltrakts um tiefere formante Frequenzen zu erzeugen. Da die Syrinx der Vögel am unteren Ende der Luftröhre liegt (statt am oberen Ende wie der Kehlkopf), gehört die gesamte Luftröhre zum Vokaltrakt. Damit ist der Vokaltrakt eines kleinen Vogels, beispielsweise eines Papageis, fast genauso lang wie der eines Menschen. Einige Vögel, wie die Kraniche, verstecken ihre verlängerte Luftröhre an ungewöhnlichen Orten: so liegt beim Schreikranich ein Teil der auf die doppelte natürliche Länge angewachsenen Luftröhre im ausgehöhlten Brustbein. Bei anderen liegt die Luftröhre in zusammengerollten Schlingen in oder auf dem Brustkorb – das extremste Beispiel ist der Schall-Manucodia, ein Paradiesvogel von der Größe einer kleineren Krähe, dessen Vokaltrakt so lang ist wie der eines Straußes.

Für Säugetiere besteht die einfachste Möglichkeit zur Verlängerung des Vokaltrakts darin, den Kehlkopf abzusenken. Neben den Menschen haben beispielsweise auch Hirsche, Koalas und alle Großkatzen wie Löwen, Tiger und Jaguare einen permanent abgesenkten Kehlkopf, der wiederum dazu dient, tiefere formante Frequenzen zu erzeugen. Offenbar sind die meisten Säugetiere in der Lage, den Kehlkopf zur Lauterzeugung vorübergehend graduell abzusenken. Eine andere Möglichkeit den Vokaltrakt zu verlängern bedeutet das Ausstoßen der Laute durch die Nasenlöcher. Wie bei Elefanten, Tapiren und Na-



Johannes Müller, »Künstlicher Kehlkopf«, 1839, Abb. aus: ders., Über die Compensation der physischen Kräfte am menschlichen Stimmorgan, Berlin, Hirschwald 1839, Tafel II, Privatsammlung

senaffen lassen sich durch eine Verlängerung der Nase tiefere Formanten bilden. Auch die Lippen röhrenförmig zu schürzen verlängert den Vokaltrakt ein Stück weit, während das Zurückziehen der Mundwinkel den gegenteiligen Effekt bewirkt.

Eine interessante, weit verbreitete, bisher aber kaum erforschte Technik zur Veränderung des Vokaltrakts sind Luftsäcke, dem Vokaltrakt angegliederte Hohlräume, oft in unmittelbarer Nähe der Stimmbänder. Man findet sie bei allen vier Tetrapoden-Klassen, bei denen sie sich offensichtlich in vielen Stammlinien unabhängig voneinander entwickelt haben. Über ihre Funktion sind zwar zahlreiche Hypothesen aufgestellt worden, doch nur wenige experimentelle Studien haben versucht, diese eindeutig zu klären. Zweifelsfrei bekannt ist die Funktion der Luftsäcke bei männlichen Fröschen. Da Frösche weder ein Zwerchfell noch eine zum Atmen taugliche Brustmuskulatur besitzen, müssen sie durch Kontraktionen der Mundhöhle Luft in die Lungen pumpen – ein recht ineffizientes System.<sup>6</sup> Diese Einschränkung des amphibischen Atemsystems stellt für paarungswillige männliche Frösche ein Problem dar. Während der Paarungszeit stoßen männliche Frösche laute Rufe aus, um ihr Revier zu markieren und weibliche Tiere anzulocken; schnelle Rufe bedeuten dabei einen deutlichen Vorteil. Eine halbe Minute zu pausieren, um die Lungen wieder neu mit Luft zu füllen, wäre wenig effektiv. Fast alle Froscharten lösen dieses Problem, indem sie mit geschlossenem Mund rufen und den Luftstrom dabei in einen elastischen Luftsack lenken, der von der Mundhöhle abzweigt und während des Rufs aufgeblasen wird. Nach dem Ruf lässt der Luftsack die aufgestaute Luft entweichen, die bei geschlossenem Mund in die Lunge zurückkehrt und für den nächsten Ruf zur Verfügung steht. So kann der Frosch mit derselben, mehrfach zirkulierten Atemluft viele rasch aufeinander folgende Rufe von sich geben. Frösche können die ausgeatmete Luft sofort wieder einatmen, ohne daran zu ersticken, weil ihre Stoffwechselrate im allgemeinen relativ niedrig ist und sie auch durch ihre feuchte Haut eine beträchtliche Menge an Sauerstoff aufnehmen und Kohlendioxid ausatmen können.

Die aus menschlicher Perspektive vielleicht faszinierendsten Luftsäcke besitzen unsere nächsten Verwandten, die Menschenaffen. Schimpansen, Bonobos, Orang-Utans und Gorillas haben große, dünnwandige Luftsäcke, die unmittelbar oberhalb der Stimmbänder am Kehlkopf anliegen. Diese Hohlräume können aufgebläht bis zu sechs Liter Luft fassen. Verschiedene andere Primaten (beispielsweise Brüllaffen, Paviane und Makaken) haben ähnliche Luftsäcke, die offenbar bei der Lauterzeugung eine Rolle spielen – ihre genaue bio-

akustische Funktion ist derzeit aber noch ungeklärt. Der bemerkenswerte Umstand, dass alle unsere nächsten Verwandten Luftsäcke haben und folglich die gemeinsamen Vorfahren von Menschenaffen und Menschen vermutlich ebenfalls über Luftsäcke verfügten, deutet darauf hin, dass der Mensch erst in der jüngsten Phase seiner Evolution die Kehlkopf-Luftsäcke zurückentwickelte – ein interessanter Aspekt der menschlichen Evolutionsgeschichte. Leider wissen wir bislang zu wenig über die Funktion der Luftsäcke bei heute lebenden Primaten und so können wir über ihr Verschwinden bei unseren Vorfahren allenfalls spekulieren. Luftsäcke, wie auch viele andere der zuvor beschriebenen Variationen, bieten also ein weites Feld für die zukünftige bioakustische Forschung.

Ein letzter Punkt, um diesen kurzen Überblick über die Variationen des Stimmapparats bei Wirbeltieren abzuschließen: Ein ungewöhnliches, aber keineswegs einzigartiges Merkmal des Menschen ist der abgesenkte Kehlkopf, der den primären akustischen Effekt hat, tiefere formante Frequenzen zu ermöglichen. Bei einigen Säugetieren, wie den Hirschen, ist der Kehlkopf ebenfalls abgesenkt, während die Zunge an ihrem ursprünglichen Ort verbleibt. Bei anderen, beispielsweise Löwen und Menschen, hat sich die Zunge zusammen mit dem Kehlkopf verlagert. Auch der Zungenbeinknochen und die Zungenbasis haben sich gesenkt, mit dem Ergebnis, dass unsere Zunge deutlich anders geformt ist als die Zunge der Schimpansen und der meisten anderen Säugetiere. Die Menschen sind unter den Säugetieren mit abgesenktem Kehlkopf jedoch offensichtlich die einzigen, die ihre neue Form der Zunge nutzen, um vielfältigere formante Frequenzen zu erzeugen und somit ein größeres Repertoire von Stimmlauten zu bilden, als ein Hund oder ein Schimpanse es könnten. Dennoch sollten wir nicht vergessen, dass die latenten akustischen Möglichkeiten, die im Vokaltrakt jeder Säugetierart angelegt sind, ausreichen würden, um die Laute einer komplexen Sprache zu bilden. Zwar ist ein Vokaltrakt in der Form des modernen Menschen notwendig, um das gesamte Lautspektrum der heutigen menschlichen Sprachen zu erzeugen, doch ist er nicht unbedingt notwendig, um irgendeine einfache Sprache hervorzubringen. Beim Singen, wenn also Vokalqualitäten und phonetische Unterscheidungen eine geringere Rolle spielen, ist der Unterschied zwischen den anatomischen Fähigkeiten zur Lauterzeugung von Menschen und Tieren noch geringer. Die Ursache des Unvermögens von Schimpansen und anderen Primaten, Sprachlaute zu bilden oder Gesänge zu erlernen, ist daher nicht auf der Ebene des Stimmapparats zu suchen, sondern in den Komponenten des Gehirns, die diesen Apparat steuern.

## Gelernte und ungelernete Laute: Ein entscheidender Schritt zur Sprache

Wenn man die stimmlichen Kommunikationssysteme heute lebender Wirbeltiere aus kognitiver Perspektive vergleicht, besteht ein grundlegender Unterschied zwischen Tieren, die einige Komponenten ihres Lautrepertoires erlernen (zum Beispiel viele Vögel oder Wale und natürlich der Mensch) und solchen, deren Lautrepertoire angeboren ist (Frösche, Reptilien und die meisten Säugetiere, einschließlich der übrigen Primaten). Diese Unterscheidung ist nicht absolut, denn wahrscheinlich sind alle Wirbeltiere bis zu einem gewissen Grad in der Lage ihre Stimmlaute kognitiv anzupassen; und sogar Tiere (wie Hunde oder Affen), die nicht lernen, neue Laute hervorzubringen, können dennoch leicht lernen, neue Laute zu hören und wiederzuerkennen. Andererseits verfügen selbst intensive Lautlerner typischerweise über ein Repertoire von ungelerten Lauten. Ein von Geburt an gehörloses Kind kann dennoch lachen und weinen, obwohl es diese Lautäußerungen nie gehört hat. Doch abgesehen von diesen Grauzonen dürfte die grundlegende Unterscheidung zwischen angeborenen, artspezifischen Ruf-Repertoires und elaborierten, erlernten, kulturell entwicklungs-fähigen Lautrepertoires (Vogelgesang, Walgesang sowie Sprache und Gesang des Menschen) recht klar sein. Die Fähigkeit, sich an Laute zu erinnern, die ein anderes Individuum erzeugt hat und sie dann selbst zu erzeugen, ist offenkundig von wesentlicher Bedeutung für die gesprochene Sprache des Menschen und ihre Evolution. Ohne diese Fähigkeit könnte das umfassende, flexible Laut-Repertoire, das einer Sprache zugrunde liegt, nicht existieren. Dass wir Menschen eine derart grundlegend wichtige Eigenschaft mit so entfernt verwandten Tieren wie Vögeln und Walen gemeinsam haben, hat das Interesse vieler Wissenschaftler auf sich gezogen und zahlreiche produktive Forschungen angeregt, insbesondere auf dem Gebiet des Vogelgesangs. Aus der Erforschung der neuralen und genetischen Grundlagen des Vogelgesangs sind in den letzten Jahren mehrere Aufsehen erregende neurowissenschaftliche Entdeckungen, wie die Entstehung neuer Neuronen bei erwachsenen Tieren, hervorgegangen.

Bei den meisten zum Lautlernen begabten Tierarten haben komplexe erlernte Lautfolgen (typischerweise als »Gesang« bezeichnet) eine Funktion bei der Partnerwerbung (um Weibchen anzulocken) und Revierverteidigung (um rivalisierende Männchen zu vertreiben) und werden häufiger von männlichen als von weiblichen Tieren hervorgebracht. Während weibliche Vögel singen können und bei vielen tropischen Vogelarten die Weibchen sogar zusammen mit ihren männlichen Partnern aufwendige Duette produzieren, sind in den gemäßigten Klimazonen interessanterweise ausschließlich die Männchen die



Präparat Mundhöhle, um 1920, Anatomisches Wachsmodell, 9,5 x 13,5 x 24,5 cm, Centrum für Anatomie, Charité-Universitätsmedizin Berlin, © Charité Campus Mitte, Foto Birgit Formann

typischen Sänger. Dasselbe gilt, soweit bekannt, auch für die beiden anderen Gruppen, die für ihr hoch entwickeltes Lautlernen bekannt sind: Wale und Robben. Die sexuelle Selektion spielte anscheinend bei der Evolution dieser Systeme in allen Tetrapoden-Klassen eine wesentliche Rolle, kann diese Entwicklung jedoch nicht vollständig erklären: So sind Frauen sprachlich mindestens ebenso begabt wie Männer (wenn nicht noch begabter), und, was noch wichtiger ist, bereits Kleinkinder lernen in einem äußerst frühen Alter – lange bevor sie an der Revierverteidigung oder der Partnerwerbung teilnehmen – ihre Stimme einzusetzen. Ich habe daher die Hypothese aufgestellt, dass die Verwandtenselektion und insbesondere die hohen Anforderungen der Fürsorge in einer Spezies mit Nachkommen, die während der außerordentlich langen Phase der Kindheit hochgradig auf

andere angewiesen ist, bei der Evolution der modernen menschlichen Sprachfähigkeit eine wesentliche Rolle gespielt haben, sowohl hinsichtlich des Lautlernens als auch hinsichtlich der Fähigkeit, eine detaillierte propositionale Bedeutung (die im Vogelgesang und im Walgesang offenbar nicht enthalten ist) flexibel zu kommunizieren.

## Schluss

Als letzte, allgemeingültige biologische Erkenntnis über die Stimme möchte ich hervorheben, dass es verschiedene Wege zum Verständnis eines jeden biologischen Phänomens gibt. Niko Tinbergen, der große Begründer der Ethologie (Tierverhaltensforschung), kategorisierte dieses Forschungsgebiet in vier wechselseitig kompatible »Warum«-Fragen nach dem Mechanismus, der Funktion,

der Ontogenese und der Phylogenese. Um zu verstehen, warum ein Vogel singt, müssen wir den Mechanismus der Vogelstimme verstehen (die Funktionsweise der Syrinx und des Gehirns, den Anstieg des Testosteronspiegels im Frühjahr, etc.), die evolutionäre Funktion des Gesangs (warum überlebten die Vorfahren der heutigen Singvögel besser und konnten sich effektiver fortpflanzen als ihre nichtsingenden Rivalen?), seine Ontogenese (wie beeinflusst die persönliche Entwicklungsgeschichte eines individuellen Vogels seinen Gesang?) und seine Phylogenese (wie und warum entwickelten die Vögel im Verlauf ihrer evolutionären Abspaltung von den Sauriern die Syrinx und die neuralen Mechanismen, die beim Gesang zum Einsatz kommen?).

Die Evolutionsbiologie lehrt uns, dass ein nachhaltig fundiertes Verständnis jedes Phänomens eine Antwort auf zumindest all diese Fragen erfordert. So ist die funktionale Beschreibung des Vogelgesangs (dass er zur Partnerwerbung und Revierverteidigung dient) keineswegs inkompatibel mit den vielen interessanten Fragen zu den Mechanismen, die dem Gesang eines individuellen Vogels zugrunde liegen. Die Gründe, warum ein Vogel singt, lassen sich gewiss nicht durch die Beobachtung seiner erfolgreichen Partnerwerbung oder durch die physiologische Beschreibung seiner Syrinx erschöpfend erklären; und man kann sich schwer der Vermutung entziehen, dass Vögel auch aus purem Vergnügen singen. Menschen essen wohlschmeckende Speisen, obwohl sie nicht hungrig sind und haben Sex, ohne Nachkommen zu zeugen, obwohl offensichtlich die Lust an diesen Tätigkeiten nicht ihre letztendliche »Funktion« im evolutionären Sinne darstellt. Das Lustempfinden ist die Methode der Natur, uns dazu zu bewegen, Dinge zu tun, die für unsere Vorfahren nützlich waren – doch dieser Umstand steht nicht im Widerspruch zu der unmittelbaren Erklärungskraft der Lust, die ein heutiges Individuum empfindet. So ist eine der Antworten auf die Frage: »Warum singt dieser Vogel?« die Beschreibung des emotionalen Zustands des Vogels beim Singen, und es scheint recht wahrscheinlich, dass Vögel beim Gesang Vergnügen empfinden, ebenso wie ihre glücklichen Zuhörer, ob Vögel oder Nicht-Vögel. Für einen Wissenschaftler wie mich, der das Glück hat, sein Leben dem Studium der Tierstimmen zu widmen, ist es nicht im mindesten unwissenschaftlich, sich an der Schönheit und Pracht der großen bioakustischen Symphonie zu erfreuen, die die Atmosphäre unseres Planeten erfüllt – und zu vermuten, dass auch die nicht-menschlichen Beteiligten in diesem Orchester dieses Gefühl ein wenig teilen.

Übersetzt aus dem Englischen von Christoph Hollender

## Anmerkungen

- 1 Obwohl die Tonhöhe in den meisten Sprachen ebenfalls eine Rolle spielt, insbesondere in »tonalen« Sprachen wie dem Chinesischen, ist sie nur zweitrangig gegenüber der Vielfalt der Formanten.
- 2 Andere sind der Zungenbeinknochen, die Mittelohrknochen, die Schilddrüse, wichtige Bestandteile des Kreislaufsystems und viele andere.
- 3 Siehe den Artikel von Perry in der Bibliographie.
- 4 Beispielsweise haben viele männliche Enten eine große knöcherne Kammer, die an einer Seite der Syrinx angewachsen ist, die so genannte Syrinxbullula.
- 5 Ähnlich wie bei einem Menschen, der so schnell er kann den Laut »u u u u ...« wiederholt – bei der Katze mit einer Frequenz von 30 Hz.
- 6 Beim Menschen könnte dies in einer sehr frühen Phase der Evolution des Lautlernens ebenfalls eine Rolle gespielt haben.

## Literatur

- W. Tecumseh FITCH, »Acoustic exaggeration of size in birds by tracheal elongation: comparative and theoretical analyses«, in: *Journal of Zoology*, 248, London 1999, S. 31–49.
- W. Tecumseh FITCH, »The evolution of speech: a comparative review«, in: *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 2000, S. 258–267.
- W. Tecumseh FITCH, »The phonetic potential of nonhuman vocal tracts: Comparative cineradiographic observations of vocalizing animals«, in: *Phonetica*, 57, 2000, S. 205–218.
- W. Tecumseh FITCH, Marc D. HAUSER, »Unpacking »Honesty«: Vertebrate Vocal Production and the Evolution of Acoustic Signals«, in: *Acoustic Communication*, Andrea Megela Simmons, Richard F. Fay, Arthur N. Popper (Hg.), Springer, New York 2002, S. 65–137.
- Die oben genannten Publikationen bieten ausführlichere wissenschaftliche Erörterungen zu zahlreichen hier angesprochenen Themen.
- Carl GANS, »Respiration in early tetrapods: The frog is a red herring«, in: *Evolution*, 24, 1970, S. 723–734.
- Mehr zur Evolution der Lunge und Stimmorgane.
- Donald R. GRIFFIN, *Listening in the Dark*, Yale University Press, New Haven 1958. Noch immer das beste Standardwerk zur Schallortung bei Menschen und Tieren.
- Gwen HEWITT, Ann MACLARNON, Kate E. JONES, »The functions of laryngeal air sacs in primates: a new hypothesis«, in: *Folia Primatologica*, 73, 2002, S. 70–94. Eine aktuelle Studie zu Luftsäcken bei Primaten.
- Vincent M. JANIK, Peter B. SLATER, »Vocal learning in mammals«, in: *Advances in the study of behavior*, 26, 1997, S. 59–99. Ein exzellenter Überblick zu erlernten Lautäußerungen bei anderen Säugetieren.
- Philip LIEBERMAN, *The Biology and Evolution of Language*, Harvard University Press, Cambridge 1984. Eine detaillierte, auf den Menschen fokussierte Darstellung der Evolution der Sprache.



Peter F. MACNEILAGE, »The frame/content theory of evolution of speech production«, in: *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 1998, S. 499 – 546.

Eine biologische Darstellung der Evolution der Lauterzeugung.

Stephen NOWICKI, Peter MARLER, »How do birds sing?«, in: *Music Perception*, 5, 1988, S. 391 – 426.

Zum Gesang von Vögeln.

Steven F. PERRY, »Mainstreams in the evolution of vertebrate respiratory structures«, in: *Form and function in birds*, Anthony S. King, John McLelland (Hg.), Academic Press, New York 1989, S. 1 – 67.

Zur Evolution der Lunge bei Wirbeltieren.

Katherine RALLS, Patricia FIORELLI, Sheri GISH, »Vocalizations and vocal mimicry in captive harbor seals«, in: *Phoca vitulina. Canadian Journal of Zoology*, 63, 1985, S. 1050 – 1056.

Der einzige wissenschaftliche Artikel über Hoover, einen Seehund, der lernte Englisch zu sprechen.

Ingo R. TITZE, *Principles of voice production*, Prentice Hall, Englewood Cliffs 1994.

Eine hervorragende Einführung, die eine intuitive Perspektive mit mathematischer Exaktheit und Klarheit verbindet.

## Die Visualisierung der Sprache im 19. Jahrhundert: Vom wissenschaftlichen Experiment zum Unterhaltungsmedium

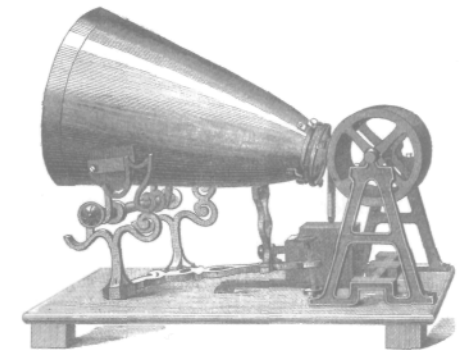
Giusy Pisano-Basile

Wenn das 19. Jahrhundert außergewöhnlich viele Erfindungen und Experimente zu Laut und Ton aufweist, so liegt das auch daran, dass die Sprache im Mittelpunkt dieses Jahrhunderts stand. Phonetische Forschungen zur Artikulation überschritten sich mit Untersuchungen europäischer Physiologen zur Bewegung und wurden schließlich zu Zwecken der Unterhaltung(-industrie) weiterentwickelt.

Kommerziell ausgerichtete Forschungen wurden aber auch in der Erziehung gehörloser Menschen eingesetzt, mit dem Ziel, deren Sprach- und Stimmerwerb zu fördern.

Die Experimente zur Sprache (Telegraph, Telefon, Phonograph, Mikrofon etc.) haben auch Forschungen zur Visualisierung und Reproduktion von Klangvibrationen angeregt, die es schließlich ermöglichten, Methoden zur Synchronisierung von Ton und Bild zu entwickeln.

Exemplarisch soll in diesem Beitrag den Experimenten von Georges Demeny und Hector Marichelle nachgegangen werden. Ausgangspunkt ihrer Forschungen war für beide die wissenschaftliche Beschreibung gesprochener Sprache. Die Forscher waren sich jedoch auch immer der spektakulären Wirkungen ihrer Experimente bewusst. Die strenge im 19. Jahrhundert etablierte Trennung zwischen Erkenntnis und Unterhaltung wurde damit aufgebrochen.



Phonoautograph von Scott de Martinville und Rudolph König, Abb. aus: J. Pisko, *Die neueren Apparate der Akustik*, Wien 1865, Privatsammlung

**Von der Chronophotographie der Sprache zum sprechenden Porträt**  
Die Forschungen von Eadweard Muybridge und Etienne-Jules Marey lösten eine Reihe von Experimenten aus, die Fotografie zur Visualisierung von