

■ ORIGINALBEITRÄGE

Stefan Koelsch

Die emotionale Stimme

The emotional voice

Summary

Different neural systems serve the production of emotional vocalizations. E.g., the periaqueductal gray is involved in initiating and producing emotional utterances, the Anterior Cingulate Cortex (ACC) in the imbuegment of vocalizations with emotional tone as well as the volitional control of emotional vocalizations, and the orbitofrontal cortex modulates ACC activity according to our personality. The neural systems for the production of song and speech mainly overlap, with slight right-hemispheric predominance for song, and slight left-hemispheric predominance for speech. The musical elements of a parent's speech (i.e., the emotional prosody of parents), as well as parental singing of songs such as lullabies and playsongs, do not only foster the emotional, cognitive, and social development of a child, but also the development of a child's voice. Because of the strong overlap of song and speech in the brain, music therapy can, e.g., help children with specific language impairment, with selective mutism, and facilitate recovery from aphasia in adults.

Zusammenfassung

Der Produktion emotionaler Vokalisationen liegen unterschiedliche neuronale Systeme zugrunde: Z.B. ist das periaqueduktale Grau involviert in die Initiierung sowie Produktion von emotionalen Lauten, der anteriore cinguläre Kortex (ACC) in die emotionale Anfärbung von Vokalisationen sowie in die willentliche Kontrolle emotionaler Vokalisationen und der orbitofrontale Kortex moduliert die Aktivität des ACCs entsprechend der Persönlichkeit eines Sprechers bzw. einer Sprecherin. Die neuronalen Systeme für die Produktion von Sprechen und Gesang überlappen stark, mit leichter rechts-hemisphärischer Gewichtung für Gesang und leicht links-hemisphärischer Gewichtung für Sprechen. Die musikalischen Elemente elterlicher Sprache (d.h. die emotionale Prosodie der Eltern) sowie das elterliche Singen z.B. von Wiegen- und Spiel-Liedern fördern nicht nur die emotionale, kognitive und soziale Entwicklung eines Kindes, sondern auch die Entwicklung der Stimme eines Kindes. Aufgrund der starken Überlappung von Sprechen und Gesang im Gehirn kann Musiktherapie z.B. Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen oder mit selektivem Mutismus helfen und das Wiedererlangen von Sprache bei Aphasikern unterstützen.

Keywords

voice, song, speech, affective prosody

Die Stimme ist wohl das interessanteste und sicher das komplexeste Instrument, mit dem wir uns unserer Umwelt mitteilen. Wir benutzen sie mit dem ersten Schrei nach der Geburt und können mit ihr – ohne es lernen zu müssen – von Geburt an Informationen über unsere Befindlichkeit mitteilen. Wir knüpfen schon als Säugling mit unserer Stimme Kontakte und lernen in den Jahren nach der Geburt etwas ganz selbstverständlich, was so nur Menschen können: Sprechen und Singen.

Vokalisieren besteht aus drei grundlegenden Komponenten: der Atmung, der Aktivität der Larynx (d.h. des Kehlkopfes, dieser enthält die Stimmlippen, durch deren Schwingungen Töne unterschiedlicher Höhe erzeugt werden können) und der artikulatorischen Aktivität v.a. von Muskeln der Zunge (des wichtigsten Artikulationsorgans), der Lippen, des Gaumensegels und des Unterkiefers. Die koordinierte Aktivität dieser drei Komponenten kann Quelle intensiver Schönheit sein und ist Teil des Wunders Stimme.

Der Ursprung der Stimme im zentralen Nervensystem

Neuronal kann die Innervation der Stimme des Menschen in zwei Systemen des zentralen Nervensystems unterschieden werden: Das erste ist ein phylogenetisch älteres System, welches nicht nur der Mensch, sondern auch jedes Säugetier besitzt. Dieses System steuert die emotionale Lautgebung und kann als »limbisches Lautgebungs-System« bezeichnet werden. Die zentralen Strukturen dieses Systems sind das periaquäduktale Grau des Mittelhirns sowie der Anteriore Cinguläre Kortex (ACC). In diesen Strukturen können durch elektrische Stimulation Vokalisationen unterschiedlicher emotionaler Valenz evoziert werden (für Übersichtsarbeiten siehe Juergens, 1998, 2002). Durch elektrische Stimulation können Vokalisationen zwar auch in anderen Strukturen des Gehirns hervorgerufen werden (z.B. in Amygdala, Hypothalamus, Mittellinienthalamus und Nucleus accumbens), allerdings sind diese Vokalisationen wahrscheinlich eher sekundäre Effekte emotionaler und motivationaler Prozesse, die durch die elektrische Stimulation aktiviert werden (ibid.). Das zweite System ist phylogenetisch jünger und steuert die willkürliche Feinmotorik der Stimme. Dieses System kann als »neokortikales Stimm- und Sprechsystem« bezeichnet werden und erfordert v.a. motorische, supplementär- und prä-motorische Kortizes (incl. des Broca-Areals) zusätzlich zu subkortikalen Strukturen wie Basalganglien, ventrolateralem Thalamus, Kleinhirn und *Formatio reticularis*.

Die emotionale Färbung von Vokalisationen

Durch das periaquäduktale Grau (PAG) werden emotionale Lautäußerungen initiiert: Uwe Jürgens hat in Experimenten mit Affen gezeigt, dass Stimulation unterschiedlicher Bereiche des PAGs unterschiedliche Vokalisationen hervorruft

(z.B. Laute, die Alarm oder die Protest ausdrücken; Jürgens, 1998, 2002; Simonyan & Jürgens, 2003). Läsion des PAGs resultiert in Mutismus (Stummheit), und zwar ohne Stimmbandlähmung (Jürgens, 1998).

Der ACC ist zuständig für willentliche Kontrolle von emotionalen Lautäußerungen, z.B. das Unterdrücken oder das künstliche Produzieren eines Schmerzscreis. Affen, die darauf trainiert sind, auf ein Lichtsignal hin einen bestimmten Laut zu produzieren oder einen Laut in seiner Länge zu variieren, können dies nicht mehr nach Läsion des ACCs, obwohl sie weiterhin unwillkürlich ganz normal Laute z.B. auf Gefahrenreize hin produzieren (Sutton et al., 1974). Uwe Jürgens und Yves v. Cramon (1982) haben einen Schlaganfall-Patienten mit Läsion des ACCs beschrieben, der nicht mehr sprechen konnte, jedoch noch emotionale Laute von sich geben konnte (Schmerzstöhnen). Einige Monate später erholte sich der Patient soweit, dass er wieder anfang zu sprechen, jedoch fehlte beim Sprechen die emotionale Intonation (der Patient hatte z.B. eine auffällig monotone Sprechstimme). Im weiteren Verlauf erholte sich der Patient soweit, dass er syntaktisch und semantisch wieder normal sprechen konnte, aber die emotionale Färbung seiner Stimme war verloren. Dies deutet darauf hin, dass der ACC beim Menschen nicht nur eine Rolle für die willentliche Steuerung von emotionalen Lautäußerungen hat, sondern auch für die emotionale Anfärbung von Vokalisationen.

Der ACC bezieht auch direkte Projektionen vom orbitofrontalen Kortex (OFC; siehe z.B. Cavada et al., 2000), einer Struktur, die u.a. neuronales Substrat unserer sog. Persönlichkeit darstellt (Tekin & Cummings, 2002; Siebel, 1994): Im OFC sind z.B. internalisierte Normen (i.e. auch soziale Rollen) so gespeichert, dass sie automatisch und schnell in Tendenzen für Denken und Handeln umgesetzt werden. Daher besteht über die neuronalen Verbindungen aus dem Orbitofrontal-Kortex zum ACC auch ein Einfluss der Persönlichkeit eines Individuums auf dessen Stimme. Anders gesagt: unsere Persönlichkeit manifestiert sich auch (über Projektionen des Orbitofrontal-Kortex in den ACC) in der Stimme.

Einflüsse auf die Stimmgebung

Über den Einfluss von vegetativer Aktivität auf die Stimmgebung ist bisher erst wenig bekannt. Die quergestreifte Muskulatur der Larynx wird durch den Nervus laryngeus recurrens innerviert, einer Abzweigung des Nervus vagus (Kaplan, 1971), und der innere Ast des Nervus laryngeus superior (der ebenfalls dem Nervus vagus entspringt) versorgt sensibel die Schleimhaut des Kehlkopfes oberhalb der Stimm lippen. Es ist durchaus denkbar, dass neuronale Aktivität in diesen Nerven durch vegetative Aktivität beeinflusst wird. Dadurch modulieren möglicherweise vegetative Prozesse (auf die auch emotionale Prozesse stets Effekte ausüben) zusätzlich den Klang der Stimme. Außer dem Einfluss von Emotion und vegetativem Nervensystem auf die Stimme wird die Stimme auch durch Hormone und Immunparameter beeinflusst: z.B. beeinflussen Blutdruck (moduliert durch

das Renin-Angiotensin-Aldosteron-System) und ggf. Schwellungen (moduliert durch Aktivität des Immunsystems) den Stimmapparat. Daher ist es für einen Arzt manchmal wichtiger *wie* ein Patient etwas sagt, als *was* er sagt.

Nach derzeitigem Wissen befinden sich alle der die Larynx innervierenden Motoneurone in Kernen des Hirnstamms (z.B. im Nucleus ambiguus), ebenso wie Motoneurone, welche Zunge, Kiefer, Gaumen und Lippen innervieren (die Neurone des PAG sind jedoch nicht direkt, sondern durch Interneurone mit den phonatorischen Motoneuronen verbunden). Beim Menschen (nicht jedoch bei Affen) existieren darüber hinaus auch Verbindungen zur Innervation der Larynx, die vom Motor-Kortex ausgehend zum Nucleus ambiguus projizieren (z.B. Jürgens, 1998, 2002). Weitere Verbindungen vom Motor-Kortex in den Hirnstamm existieren für die Innervation von Lippen, Zunge, Kiefer und Gaumen; diese Verbindungen sind wahrscheinlich eine Voraussetzung für die Entwicklung von Sprache, weil sie die differenzierte motorische Aktivität ermöglichen, die für die Produktion schnell aufeinander folgender Phoneme und Töne gebraucht wird.

Lernen von Singen und Sprechen

Vokale Imitation (von der man lange Zeit dachte, dass dies nur Vögel und Wale könnten, die man in den letzten Jahren jedoch in einer weiteren Reihe von Spezies entdeckt hat) braucht die willentliche Kontrolle des Stimmapparates. Der Mensch ist ein Meister vokaler Imitation. Bei der vokalen Imitation hilft ihm ein System von sog. Spiegelneuronen (engl. *mirror neurons*): Diese Neurone sind beim Hören und Sehen von Sprache genau so aktiv wie bei der Produktion von Sprache (z.B. Rizzolatti & Craighero, 2004). Diese Neurone befinden sich z.B. im sog. Broca-Areal aber auch in anderen Teilen des prä-motorischen Kortex. Wir haben mit fMRT (funktioneller Magnetresonanztomographie) gezeigt, dass das mirror-neuron-System auch beim Hören von Musik aktiv ist (Koelsch et al., 2006): Wenn Menschen eine Melodie hören, aktiviert dies automatisch die kortikale Repräsentation der Larynx (im sog. Rolandischen Operculum, dies befindet sich oberhalb der Sylvischen Fissur am Übergang von motorischem zu sensorischem Kortex). Da die Larynx das Organ ist, mit dem wir beim Sprechen bzw. Singen Melodien produzieren, bedeutet dies, dass Neurone im Gehirn bereits beim Zuhören von Melodien so aktiv sind, wie sie aktiv sind, wenn sie diese Melodien selber produzieren. Dieses Spiegelneurone-System spielt für das Lernen von Singen und von Sprechen eine wichtige Rolle. Kinder z.B. lernen das Singen und Sprechen auch dadurch, dass sie genau hinhören und hinschauen, wenn andere Menschen sprechen oder singen.

Einflüsse auf die Sprach- und Sprechentwicklung

Von allen Organen des Menschen ist die Stimme das einzige Musikinstrument.

Wie erstaunlich virtuos jeder Mensch dieses Instrument beherrscht, können wir auch daran erkennen, dass Menschen ihre Muttersprache ohne Akzent sprechen können. Haben Sie schon einmal probiert, eine andere Sprache als ihre Muttersprache ohne Akzent zu sprechen? Wir können erkennen, was für eine großartige feinmotorische Leistung wir beim Sprechen vollbringen, wenn wir einem erwachsenen Ausländer beizubringen versuchen, das einfache Wort »Streichholzschächtelchen« (was uns allen ohne Probleme über die Lippen geht) exakt und akzentfrei zu sprechen.

Wir können auch alle singen, zumindest als Kinder (bei normaler Stimm- und Sprachentwicklung, und nur, wenn keiner uns eingeredet hat, wir könnten nicht singen). Mütter (gelegentlich auch Väter) singen ihren Kindern Wiegen-, Spiel- und Schlaflieder, und eine Reihe von Studien hat gezeigt, dass dieser Gesang die emotionale, soziale und kognitive Entwicklung des Kindes deutlich fördert (Trehub, 2003). Studien von Michael Fuchs haben gezeigt, dass Kinder, die singen, deutlich weniger Sprech- und Stimmstörungen haben (Fuchs, 2008), und Studien aus meiner Gruppe legen nahe, dass die Beschäftigung mit Musik in der Kindheit Sprachentwicklungsstörungen vorbeugt (Jentschke et al., 2008).

Umgekehrt stellt musikalische Deprivation, auch im Hinblick auf die Prosodie der Eltern, einen Risikofaktor für Sprachentwicklungsstörungen (SES) und Sprechstörungen (SpS) dar: In einer Untersuchung von Angelika Kölsch und Walter A. Siebel (2007) wurde gezeigt, dass das Risiko, dass Söhne eine SES oder SpS entwickeln, bei Müttern mit niedriger pitch-range (also bei Müttern, die monotoner sprechen als normal) deutlich erhöht ist. In dieser Studie wurden gesprochene Sätze von Müttern aufgenommen, deren Kinder eine SES oder eine SpS hatten. Von jedem Satz wurde die Frequenz des höchsten Tons durch die Frequenz des tiefsten Tons des Satzes dividiert (dies entspricht der pitch-range dieses Satzes), und dann wurden diese Quotienten über die Sätze hinweg gemittelt (dies resultiert in einer für eine Person repräsentativen pitch-range). Die pitch-range-Werte der Mütter von Söhnen mit SES und SpS waren deutlich niedriger als die der Mütter von Töchtern mit SES und SpS, was zeigt, dass die pitch-range der Mutter einen Einfluss auf die Sprachentwicklung des Kindes hat und außerdem nahelegt, dass die Sprach- und Sprechentwicklung von Jungen empfindlicher ist gegenüber eher monotoner Sprechweise der Mutter als die von Mädchen. Monotone Sprechweise ist ein Hinweis auf reduzierte Emotionalität (wie z.B. bei Depression), und eine interessante Studie von Anke Nienkerke-Springer und Kollegen (2005) schlägt vor, dass für die Therapie von Stimmstörungen im Kindesalter eine Familientherapie wichtig ist, welche auch die Lebenssituation des Kindes sowie den sozialen (Familien-) Kontext in die Therapie mit einbezieht.

Neuronale Grundlagen für therapeutische Ansätze

Wenn wir genau hinhören, können wir merken, dass bereits »normal« gesprochene Sprache einen ganz bestimmten Rhythmus und eine ganz spezielle Melodie

hat, von der aus der Schritt zum Singen oft nur sehr klein ist. Etliche (v.a. afrikanische) Sprachen kennen interessanterweise gar keine unterschiedlichen Wörter für Singen und Sprechen. Eine Reihe von funktionell-Bildgebenden Studien hat in den letzten Jahren die neuronalen Netzwerke verglichen, die der Produktion von Sprache und Gesang zugrunde liegen. In Studien mit funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) haben Özdemir et al. (2006) sowie Callan et al. (2006) über sehr ähnliche Netzwerke für Sprechen und Singen berichtet: Diese Netzwerke umfassen v.a. bilateral prä-motorischen Kortex incl. Broca-Areal, sowie auditorischen Kortex und das Cerebellum. Prä-motorischer und auditorischer Kortex zeigen meist rechts-hemisphärische Gewichtung beim Singen und links-hemisphärische Gewichtung beim Sprechen. Ähnliche Befunde berichten Gunji und Kollegen (2006) in einem Experiment mit Magnetencephalographie (MEG).

Die teilweise überlappenden neuronalen Netzwerke für Sprechen und Singen (bzw. die rechts-hemisphärische Gewichtung für Singen) hat sich interessanterweise die »Melodic Intonation Therapy« (MIT) für Therapiezwecke zunutze gemacht: Die MIT ist eine Mischung aus Musik- und Sprachtherapie, die auf dem erstaunlichen Phänomen basiert, dass Patienten mit Broca-Aphasie (also mit Läsionen des Broca-Areals, das sich im linken inferior-frontolateralen Kortex befindet) zwar keine Sätze sprechen können, dieselben Sätze jedoch singen können. In der MIT lernen Patienten zunächst, bestimmte Sätze, die im Alltag oft gebraucht werden, zu singen (sowie dabei mit der linken Hand den Rhythmus des Satzes mitzutippen). Im weiteren Verlauf der Therapie lernen die Patienten dann, die gesungenen Sätze wieder zu sprechen. Neue Studien mit fMRT aus dem Labor von Gottfried Schlaug zeigen, dass die MIT auf dem Effekt beruht, dass nach Läsion des Broca-Areals (in der linken Hemisphäre) das rechts-homologe Areal zunächst die Produktion von Wörtern beim Singen von Sätzen bewerkstelligen kann, und dass durch das Training dieses Areals mittels Singens diese Fertigkeit dann auf das Sprechen übertragen wird (Schlaug et al., 2008).

Musiktherapie kann auch zur Behandlung des selektiven Mutismus von Kindern eingesetzt werden (d.h. von Stummheit, die nur in bestimmten Situationen auftritt, bspw. im Kindergarten): Birgitta Findeisen (2007) hat ein Therapieprogramm entwickelt, in dem Kinder über das Spielen von Musikinstrumenten dazu ermutigt werden, sich auch mit ihrer Stimme auszudrücken. Die neuen Erfahrungen mit der eigenen Sprech- und Singstimme sowie das sich daraus ergebende stärkere Vertrauen in die eigene Stimme führen dann dazu, dass sich die Kinder stimmlich in Situationen engagieren, in denen sie vorher stumm blieben.

Interessanterweise zeigen Studien zur Wahrnehmung emotionaler Stimmen (sog. »affektiver Prosodie«), dass das Gehirn emotionale Botschaften der Stimme in anderen Netzwerken entschlüsselt als in denen, welche die (nicht-emotionale) Semantik von Botschaften entschlüsseln: Dirk Wildgruber und Kollegen (2004) haben fMRT-Studien zur Wahrnehmung affektiver Prosodie durchgeführt, in denen Versuchspersonen entweder beurteilen sollten, ob ein gesprochener Satz (z.B. »Der Schal ist in der Truhe«) zu einer vorher gestellten Frage passt (»Wo ist

der Schal«), oder beurteilen sollten, wie emotional ein Satz gesprochen wurde. Obwohl die Netzwerke emotionaler und semantischer Verarbeitung stark überlappten, waren Aktivierungen während der Emotions-Aufgabe im Orbitofrontal-Kortex stärker als während der Kontroll-Aufgabe (in welcher der linke inferiore frontolaterale Kortex stärker aktiviert war; siehe auch Wildgruber et al. 2005). Nota bene waren die Stimuli für die Emotions- und Kontrollaufgabe identisch (nur die Aufgabe unterschied die zwei Bedingungen), daher zeigen diese Ergebnisse auch, dass die unterschiedlichen Netzwerke für das Entschlüsseln von emotionalen und nicht-emotionalen Botschaften gesprochener Sprache durch Aufmerksamkeit aktiviert werden können.

Literatur

- Callan DE, Tsytsarev V, Hanakawa T, Callan AM, Katsuhara M, Fukuyama H, Turner B (2006): Song and speech: Brain regions involved with perception and covert production. *Neuroimage* 31: 1327-1342.
- Cavada C, Company T, Tejedor J, Cruz-Rizzolo RJ, Reinoso-Suárez F (2000): The Anatomical Connections of the Macaque Monkey Orbitofrontal Kortex. A Review. *Cerebral Cortex* 10(3): 220-242.
- Findeisen B (2007): Music therapy in the treatment of young children with selective mutism. Workshop der Konferenz *Music, Language and Movement*, Herstmonceux Castle, East Sussex, UK, August 2007.
- Fuchs M (2008): Landmarken der physiologischen Entwicklung der Stimme bei Kindern und Jugendlichen (Teil 1). *Laryngo-Rhino-Otol* 2008; 87: 10-16.
- Gunji A, Ishii R, Chau W, Kakigi R, Pantev C (2007): Rhythmic brain activities related to singing in humans. *Neuroimage*. 2007 Jan 1;34(1): 426-34.
- Jentschke, S, Koelsch, S, Sallat, S, Friederici, AD (2008): Processing of musical syntax in children with and without Specific Language Impairment. *Journal of Cognitive Neuroscience*; in press.
- Jürgens U, Cramon D von (1982): On the role of the anterior cingulate Kortex in phonation: a case report. *Brain Lang* 15 :234–248.
- Jürgens U (2002): Neural pathways underlying vocal control. *Neurosci Biobehav Rev* 26(2):235-58.
- Jürgens U (1998): Neuronal Control of Mammalian Vocalization, with Special Reference to the Squirrel Monkey. *Naturwissenschaften* 85(8): 376-388.
- Kaplan HM (1971): *Anatomy and physiology of speech*. McGraw-Hill.
- Koelsch, S, Fritz, T, von Cramon, DY, Muller, K & Friederici, AD (2006): Investigating emotion with music: an fMRI study. *Hum. Brain Mapp.*, 27, 329–350.
- Kölsch A & Siebel WA (2007): Effekte der mütterlichen Prosodie für die Sprachentwicklung? Konsequenzen für die Diagnostik und Beratung. *Interdis* 1: 13-21.
- Nienkerke-Springer A, McAllister A, Sundberg J (2005): Effects of family therapy on children's voices. *J Voice*. 2005 Mar;19(1): 103-13.
- Ozdemir E, Norton A, Schlaug G (2006): Shared and distinct neural correlates of singing and speaking. *Neuroimage*. 2006 Nov 1;33(2): 628-35.
- Rizzolatti G, Craighero L (2004): The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci*. 2004;27: 169-92.
- Schlaug G, Marchina S, & Norton A (2008): From Singing to Speaking: Why Singing May Lead to Recovery of Expressive Language Function in Patients with Broca's Aphasia. *Music Perception* Volume 25, Issue 4, pp. 315–323.

- Diess. (2007): From singing to speaking: Music-facilitated language recovery. Vortrag auf der Konferenz Music, Language and Movement, Herstmonceux Castle, East Sussex, UK.
- Siebel WA (1994): Human Interaction. Langwedel: Glaser.
- Simonyan K, Jürgens U (2003): Efferent subcortical projections of the laryngeal motor-kortex in the rhesus monkey. *Brain Res* 974(1-2): 43-59.
- Sutton D, Larson C, Lindeman RC (1974): Neocortical and limbic lesion effects on primate phonation. *Brain Res* 71: 61-75.
- Tekin S, Cummings JL (2002): Frontal-subcortical neuronal circuits and clinical neuropsychiatry: an update. *J Psychosom Res.* 2002 Aug;53(2): 647-54.
- Trehub SE (2003): The developmental origins of musicality. *Nat Neurosci.* 2003 Jul;6(7): 669-73.
- Wildgruber D, Hertrich I, Riecker A, Erb M, Anders S, Grodd W, Ackermann H (2004): Distinct frontal regions subserve evaluation of linguistic and emotional aspects of speech intonation. *Cereb Kortex.* 2004 Dec;14(12): 1384-9.
- Wildgruber D, Riecker A, Hertrich I, Erb M, Grodd W, Ethofer T, Ackermann H (2005): Identification of emotional intonation evaluated by fMRI. *Neuroimage.* 2005 Feb 15;24(4): 1233-41.

Stefan Koelsch, PhD, Department of Psychology, Pevensey Building, University of Sussex, Falmer, Brighton, BN1 9QH. – Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Science, Stephanstr. 1a, 04103 Leipzig. E-mail: Koelsch@cbs.mpg.de