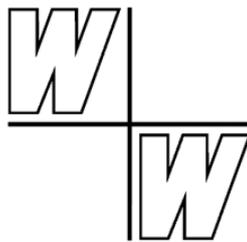


Die Einzigartigkeit des menschlichen Kehlkopfes

Karin Bauer

Stand 31.03.2025



Studiengemeinschaft Wort und Wissen

<https://www.wort-und-wissen.org/kehlkopf/>

Die Einzigartigkeit des menschlichen Kehlkopfes

Karin Bauer

Handelt es sich bei der menschlichen Stimme lediglich um eine „Einnistung“ in bereits bei Primaten vorhandene Anatomie, die evolutionär einfach und unproblematisch zu erklären ist – oder existieren deutliche Hinweise auf ein einzigartiges, komplexes und geniales Schöpfungsdesign der an der menschlichen Stimme beteiligten Komponenten?

Kompakt

Ist die menschliche Stimme nur eine kulturelle Errungenschaft, die sich evolutionär in eine bereits bei Primaten bestehende Anatomie „einenistet“ hat oder trägt der anatomische Bauplan einzigartige Merkmale in sich, die auf gezielte Planung einer vielseitigen und differenzierten Stimmfunktion hinweisen? Sind die anatomischen und physiologischen Eigenschaften der Stimmfunktion, welche die Grundlage für Sprache und Gesang bieten, ein den Menschen abgrenzendes Merkmal oder sind sie unerheblich? Letzteres würde die Rekonstruktion im Sinne der Phylogenie (Stammesgeschichte) deutlich erleichtern. Es stellt sich somit die Frage, ob es – entgegen der verbreiteten Meinung heutiger Evolutionsbiologen – neben allgemein anerkannten neurologischen Merkmalen auch wesentliche anatomische Merkmale gibt, die einen relevanten Unterschied zwischen Mensch und Primaten ausmachen.

Unbestritten liegt zwischen den Kommunikationsweisen von Tieren und Menschen der markante Unterschied in der Ausprägung der Sprachfähigkeit, da der Mensch Gedanken, Gefühle sowie komplexe Sachverhalte auf eine differenzierte Weise mitteilen kann. Das menschliche Stimmsystem ist im Gesamtsystem des menschlichen Wesens bestens vernetzt. Stimmeinsatz ist nur möglich durch Interaktion komplexer Körpersysteme. Die an der Stimme beteiligten Systeme verfügen jeweils über eigene, interne Funktionen, interagieren andererseits aber auch als Teil des Stimmsystems. Als Teilsystem der Stimme ordnen sie

sich als ein Element in der Stimmerzeugung der gemeinsamen Funktion verbaler Kommunikation unter. Neben der mentalen Fähigkeit, komplexe Informationen zu durchdenken, wird für die vielfältigen Lautbildungen der menschlichen Sprachen ein anatomisches und neuronales System benötigt, das auf organischer Ebene die differenzierten Laute erzeugen kann. Das Gehirn, die Sinnes-Systeme und das Stimmsystem sind drei Teilbereiche, die in der Stimm- und Sprachfunktion in einer feinaustarierten Wechselbeziehung zueinander stehen. Menschliche Kommunikation ist nur im Trio von Wahrnehmen, Denken und Senden umfänglich gewährleistet. Auffallend ist, in welchem hohem Maß sich im Stimmsystem Funktionalität, Variationsvielfalt und Ästhetik vereinen – auch wenn letzteres natürlich subjektiv ist. Auf vielfältige Weise kommen „Multitoolsysteme“ zum Einsatz, deren evolutionäre und rein zufällige Entstehung nach aktuellem Wissensstand nicht nachvollziehbar erscheint. Sowohl die internen Details als auch die Schnittstellen müssen gut durchdacht und funktional sein.

1. Einleitung

Die komplexe verbale Sprache als Kommunikationsweg unterscheidet den Menschen deutlich von der Tierwelt (vgl. LIEBI 2018, 41–51; SCHOLL 2018; 2023a; b). Dennoch gehen evolutionäre Modelle davon aus, dass sich die notwendigen anatomischen, neuronalen und kognitiven Voraussetzungen zur Entstehung der Sprache durch zufällige Evolutionsprozesse innerhalb von höchstens 5 bis 7 Millionen radiometrischen Jahren aus schimpansenartigen Vorfahren heraus entwickelt haben (vgl. SCHOLL 2022). Dabei stellt sich die Frage, wie die Stimmfunktion konzipiert ist und welche Ansatzpunkte es aus der vergleichenden Anatomie heutiger Menschen und Affen überhaupt gibt, die für oder gegen ein solches Szenario sprechen könnten. Im Folgenden werden der Kehlkopf sowie weitere an der Stimmbildung und -wahrnehmung beteiligte anatomische Strukturen beim Menschen mit ihren Funktionen der Stimmbildung vorgestellt und zudem mit den Bedingungen bei Schimpansen vergli-

chen. Dabei wird insbesondere auf die Bedeutung des „gesenkten Kehlkopfes“, auf die Komplexität im Zusammenhang von Gewebe und Klang sowie auf die netzwerkartigen Beziehungen eingegangen. So wird der Frage nachgespürt, ob der Kehlkopf samt anderen Strukturen bei der Erzeugung der menschlichen Sprache einzigartige Hinweise auf ein intelligentes Design darstellen oder ob sie problemlos von primatenartigen Strukturen abgeleitet werden können.

2. Der Kehlkopf von Mensch und Tieren im Vergleich

Für die Ausübung der verbalen Kommunikation und für die Erzeugung von Stimmklang ist der Kehlkopf von enormer Bedeutung. Doch auch nichtmenschliche Säugetiere haben Kehlköpfe und selbst Amphibien besitzen knorpelige Anlagen im Luftweg. Daraus schließt die große Mehrheit der Wissenschaftler, dass sich der komplexe multifunktionale Kehlkopf des Menschen aus rudimentären Urformen, wie sie z. B. bei Amphibien vorkommen, langsam entwickelt habe (vgl. PAULSEN 1967). Alle lungenatmenden Lebewesen wie Amphibien, Vögel, Reptilien und Säugetiere brauchen Leitungswege, welche die Luftzufuhr gewährleisten. In Bau und Funktion sind zwischen den Atemsystemen der unterschiedlichen Wirbeltiere Parallelen, aber auch große Unterschiede zu entdecken (vgl. CAMPPELL et al. 2006, 1063–1076; DUNKER 2000).

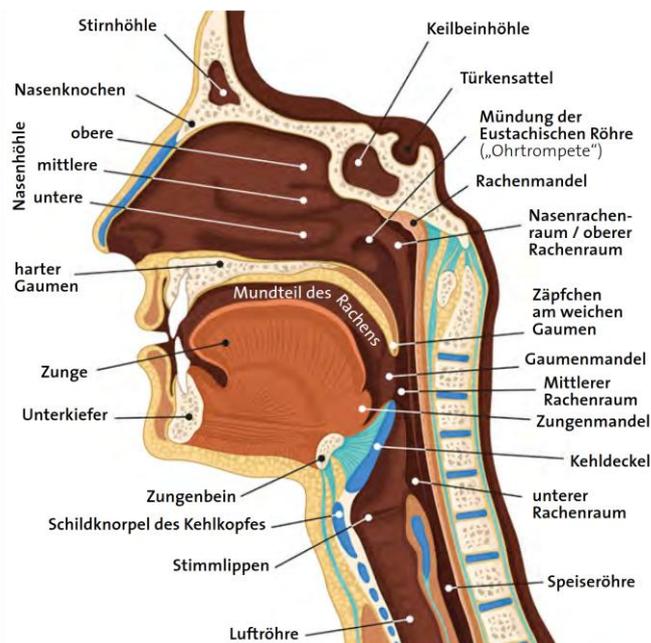


Abb. 1 Details des menschlichen Mundraums und Rachens. (WEISS nach nrmfotograf, Adobe Stock)

Die Strukturen, die für die evolutive Entstehung des menschlichen Kehlkopfes Pate stehen, sind beidseitige Knorpel im Atemweg unterhalb der Atemöffnung, wie sie z. B. Schwanzlurche haben. Aus ihnen soll sich das multifunktionale feingliedrige Kehlkopfsystem mit einem äußerst komplexen Innenausbau beim Menschen entwickelt haben (vgl. PAULSEN 1967). Übereinstimmungen in der Anatomie finden sich – wenig überraschend – insbesondere dort, wo gleiche funktionale Anforderungen vorliegen. Dennoch ist jedes Atemsystem der Lebewesen an die spezifische Lebensweise angepasst (vgl. CAMPPELL et al. 2006, 1063–1076; DUNKER 2000).

Die Belüftungssysteme passen immer zur Lebensform und Bewegungsform

Ein Kehlkopfsystem steht in Beziehung zu einer Belüftung der Lunge im Wechsel von Ein- und Ausatmung. Vögel besitzen die Besonderheit eines Lungensystems mit zirkulierendem Luftkreislauf (vgl. SCHMIDT-NIELSEN 1971, 72–79; CAMPPELL et al. 2006, 1063–1076; DUNKER 2000). Für den Vogelflug erweist sich diese Belüftungsform als Vorteil. Säugetiere und Men-

schen hingegen haben ein anderes Bewegungskonzept. Sie atmen über einen Atemweg ein und aus. Bei ihnen bildet der Kehlkopf (Larynx) den Übergang vom Rachen zu tieferen Atemwegen. Aus evolutionistischer Sicht (vgl. ROHMERT 1987, 185ff.) entwickelten sich die ersten rudimentären Kehlkopfanlagen im Übergang vom Wasser zum Landtier, um die Lungen vor dem Eindringen von Wasser und Fremdkörpern zu schützen. Demnach gelten die Kehlkopfanlagen bei Lungenfischen und Amphibien als ein zufällig präadaptiver (vorangepasster) Schritt auf dem Weg zum komplexen Kehlkopfsystem. Frösche gelten als die ersten Tiere, die den Kehlkopf auch als Klangorgan zum Einsatz brachten. Diese Darstellung beschreibt im Weiteren, dass im Verlauf der Evolution das Verschlussystem im Kehlkopf – aufgrund der veränderten Anforderungen an Land – komplexer wurde. Zunächst entstand ein Schutzventil, das als Einlassventil und Auslassventil einsetzbar war. Zu der Schutzfunktion gesellte sich im Leben an Land ein weiterer Auftrag an das Kehlkopfsystem: die Stabilisierung des Rumpfes, da nun die tragende Funktion des Wassers fehlte. Der Mensch und eine Reihe von Säugetieren hat im Kehlkopf eine doppelte Ventilanlage und einen beweglichen Kehldeckel als Verschlussystem, mit der die Atmung unterbrochen werden kann und durch deren Verschluss die tiefen Atemwege geschützt werden. Ein Teil des Verschlussystems bildet der flexible Kehldeckel, der sich beim Schlucken schützend über den Atemweg legt. Dieses Prinzip von Öffnung und Schließung gewährleistet zugleich Belüftung und Schutz.

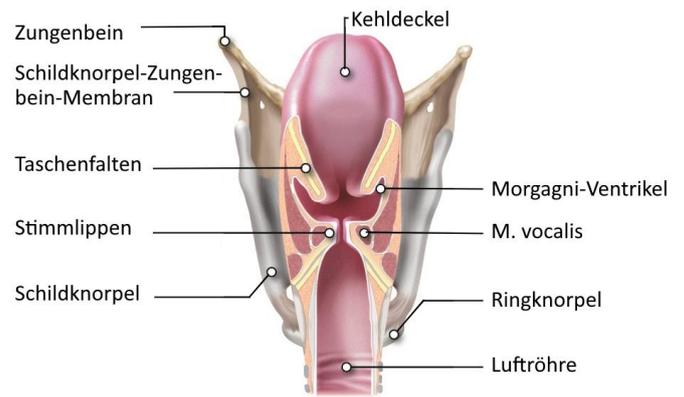


Abb. 2 Kehlkopf mit seinen Bereichen: oberer Bereich (Epiglottis), mittlerer Bereich (Glottis) und unterer Bereich (Subglottis). (SCHOLL nach Alan Hoofring - the National Cancer Institute, Public Domain)

Das Doppelventil im Kehlkopf für Atmung und Lautäußerung

Unterhalb des Kehldeckels liegen zwei Ventilebenen: die Taschenfalten und darunter die Stimmlippen. Diese Gewebefalten wölben sich nach innen in den Kehlräum hinein. Bei Säugetieren, die ihre vorderen Extremitäten unabhängig von den hinteren gebrauchen, und auch beim Menschen (welcher Beine, Arme und Hände sehr vielseitig einsetzt) erfüllt das Verschlussystem als Doppelventil zusätzlich eine den Körper stabilisierende Funktion (vgl. FÖCKING & PARRINO 2015, 35). Die Gewebefalten üben zwei Ventilfunktionen aus: Überdruck- und Unterdruckventil. Aus dem Blickwinkel der Vertreter der Evolutionstheorie gelten die Taschenfalten als das ältere Ventil und die Stimmlippen entwicklungsgeschichtlich als das jüngere Ventil (vgl. ROHMERT 1987, 185ff.). Die Funktion der Ventile hat gesamt-körperliche Auswirkungen.

Der Kehlkopf spielt auch eine wichtige Rolle bei verschiedenen Bewegungen.

Durch den jeweiligen Verschluss der Ventile baut das Körpersystem je nach Art des Krafteinsatzes einen Über- oder Unterdruck im Rumpf auf. Das ermöglicht den kraftvollen sowie flexiblen Einsatz der Extremitäten in ver-

schiedene Richtungen und gibt ihnen eine größere Freiheit in der Beweglichkeit. In Kehlköpfen mit doppelter Ventilebene kommt das obere Ventil, die Taschenfalten, für den Überdruck und das untere Ventil, die Stimmlippen, für den Unterdruck zum Einsatz. Der jeweilige Ventilverschluss findet in Abstimmung zur Ein- oder Ausatmung statt. Bei Kräfteinsätzen, die eine vom Körper weg gerichtete Bewegung erfordern, wie Drücken, Stoßen oder Schieben, erzeugt der Kehlkopfverschluss in der oberen Ventilebene (Taschenfalten) einen Überdruck im Rumpf, wodurch die Extremitäten mehr Schubkraft haben. Der Verschluss des Atemsystems gelingt, weil sich viel Atemluft im Rumpf befindet, die den Rumpf stabilisiert. Bei Bewegungen, deren Kraftrichtung zur Körpermitte hin führen, wie Hangeln, Hängen oder Ziehen, wird durch den Verschluss des Atemsystems durch die Stimmlippen, dem unteren Ventil, in einem Moment mit geringem Atemvolumen in den Lungen ein Unterdruck im Rumpf erzeugt. Da das Atemvolumen am Ende der Ausatmung am geringsten ist, erfolgt der Verschluss meist reflexhaft in diesem Moment der Atmung. Im Rumpf herrscht dann im Vergleich zur Außenluft ein geringerer Luftdruck. Dadurch haben beispielsweise die Arme mehr Zugkraft. Dies ist eine Funktionalität, die z. B. auch für Affen beim Hangeln von Ast zu Ast eine wichtige Rolle spielt. Diese Kombination von Belüftungssystem und Doppelventil findet sich dort, wo die Beweglichkeit und Fortbewegung es erfordert. Die Feinheiten in der Anatomie der verschiedenen Kehlköpfe sind also an den Lebensraum und an die Bedürfnisse angepasst. Entscheidend beim Menschen und bei Säugetierarten, die ihre Vorderextremitäten gezielt einsetzen müssen, ist ein *einfach-linearer* Atemweg (Luft rein bzw. raus), der *nicht zirkulierend* ist wie der von Vögeln. Das Doppelventil im Kehlkopf, welches in Abstimmung zur Belüftung die Bewegung des Gesamtkörpers ermöglicht, ist ein Merkmal,

das für differenzierte Planung und durchdachtes Design spricht.

Ein „Multitool- System“

Die Gewebefalten kommen neben der beschriebenen Ventilfunktion auch bei der Reinigung der Luftwege zum Einsatz. Fremdkörper oder Krankheitserreger, die in das Lungensystem eindringen könnten, werden durch Kehlkopfflexe, wie z. B. Husten, nach außen befördert oder am Eindringen gehindert. Weitere Reflexe, die der Reinigung und dem Schutz dienen und an denen der Kehlkopf beteiligt ist, sind Räuspern bzw. Würgen. Die Reflexe bieten unterschiedliche Abstufungen der Reinigung und Druckauflösung. Auch mentalen und emotionalen Formen von „Druck“, wie Stress, Angst oder aufwallende Gefühle, bietet sich durch eine stimmhafte Beteiligung eine körperlich – seelische Möglichkeit zur Auflösung. Hier besteht eine tiefe Beziehung von Kehlkopf und dem Limbischen System. Stöhnen, Seufzen, Lachen, Weinen, Schluchzen, Wimmern und das Schreien (als Angstentladung) sind reflexhafte Lautäußerungen. Ob es sich um die Reinigung der Atemwege oder um eine emotional verknüpfte Form der Klärung und Balancierung des Systems dreht: Bei allen erwähnten Kehlkopfflexen sowie bei den Ventil- und Schutzfunktionen spielt die Verschlussfähigkeit sowie Verschlussqualität der Gewebefalten eine zentrale Rolle.

Die Kehlkopffunktionen und Atemrhythmus funktionieren in Abstimmung

Wann immer ein funktionaler Moment des Verschlusses eintritt, wird der Atemfluss unterbrochen. Das bedeutet, dass jeder Einsatz der Kehlkopfventile in Abstimmung mit der Atmung vonstatten gehen muss. Diese enorme Abstimmung auf neuronaler Ebene erfordert eine wohl durchdachte Orchestrierung und Planung. Eine Abstimmung von Funktionen,

die dem Überleben dienen, wie die ausreichende Sauerstoffversorgung, der Schutz und die Reinigung der zuführenden Leitungsbahnen, wie auch die gesamt-systemische Balance können sich wohl nicht schrittweise über zufällige Versuche langsam entwickeln, sondern müssen vom ersten Moment an voll funktional sein. Wie oben erwähnt ist zu beobachten, dass das Atemsystem – einschließlich der Verschlussysteme im Kehlkopf – auf die jeweiligen Lebensräume und Lebensformen abgestimmt ist. Es besteht also ein Zusammenhang zwischen Umfeld und Systemkonzeption. Wenn nun im evolutionären Rahmen ein Lebewesen seinen Lebensraum oder seine Lebensweise ändert, woher hat ein Körpersystem das Wissen, dass es sich anpassen muss und was es ändern muss, um den veränderten Bedingungen gerecht zu werden? Wie viel Zeit zur evolutionären Anpassung räumt man für die Umbauten ein, insbesondere, wenn überlebensnotwendige Funktionen an den notwendigen Konfigurationen beteiligt sind? In Bezug auf den Kehlkopf kann man auch die Frage stellen, welcher Primärfunktion der Vorrang zuzuordnen ist, denn sowohl Belüftung als auch Lebensschutz und ein stabiler als auch beweglicher Rumpf sind elementar. Im Falle des Kehlkopfes müssen sich alle Funktionen mit dem Atemrhythmus und den differenzierten Ventilfunktionen abstimmen. Die evolutionstheoretische Vorstellung lautet, dass sich der komplexe Ventilmechanismus in einem funktionalen Atemsystem schrittweise neu konfiguriert hat, bis er die heute beim Menschen anzutreffende Struktur erreichte (vgl. FÖCKING & PARRINO 2015, 34). Betrachtet man diese Theorie genauer, stellen sich mehrere Fragen. Erstens könnte ein sensibles System in der Gefahr stehen, aus dem Gleichgewicht zu geraten, da Zwischenschritte zum nächsten funktionalen Ausstattungsdetail die Funktion beeinträchtigen könnten. Zweitens benötigt jede Mutation,

die nach der Evolutionstheorie eine phänotypisch wirksame (d. h. im Erscheinungsbild veränderliche) Weiterentwicklung garantieren soll, eine Neukonfiguration des gesamten Konzeptes. Das bedeutet, dass zu den neu entstandenen organischen Veränderungen alle Leitungsbahnen neu geordnet werden müssen. Es ist nicht ausreichend, dass neue Knorpelstrukturen oder Muskeln hinzukommen. Sie müssen über die Blutbahn entsprechend versorgt und über Nervenbahnen, Rezeptoren und Hirnareale betreut werden. Zudem muss eine übergeordnete Instanz wissen, wozu die neuen Elemente dienen und wann sie zum Einsatz kommen sollen. Am Konzept des menschlichen Atemsystems ist ersichtlich, dass alle Faktoren im Atemsystem, ob es die Leitungsbahnlänge, das Lumen (Hohlraum der Leitungsbahnen), die Kurven und Unebenheiten in der Leitungswand sind, bei strömender Luft immer Konsequenzen nach sich ziehen. So verfügt der Mensch beispielsweise an der Gabelung zu den Hauptbronchien, die von der Luftrohr links und rechts in die Lunge führen, über einen in den Luftweg ragenden Sporn (Carina trachea). Diese kleine Struktur verwirbelt die einströmende Luft an der Gabelung und dient damit der Aufteilung der zugeführten Luft in die zwei Lungenteile (vgl. WASCHKE et al. 2015, 280). Selbst so kleine Details in der menschlichen Anatomie haben einen Sinn. Ziellose Veränderungen der Atemwege würden auch Einfluss auf den Atemstrom nehmen – und bei entsprechender Größe bergen sie zudem das Risiko, ohne zentrale Steuerung den Atemweg unkontrolliert zu verschließen. Die Idee einer zufälligen Evolution würde voraussetzen, dass zeitgleich auch die neuronalen Informationskanäle sowie die zentrale Steuerung dieser Ventile und die Vernetzung zu den Atemzentren im Gehirn quasi aus dem Nichts hätten erwachsen müssen, und das in differenzierter Abstimmung zueinander. Hinzu

kommt, dass diese Gewebefalten multifunktional agieren: als Doppelventil sowie als Schutz- und Reinigungssystem. Darüber hinaus sind sie auch im Stimmssystem von Bedeutung. In der Konzeption eines Multitool-Systems muss vor dem Bau bereits klar sein, welche Aufgaben bedient werden sollen, welche Elemente sich für eine mehrfache Nutzung eignen und wie man diese aufeinander abstimmt. Dies alles benötigt gezielte Planung. Solche Veränderungen, die nach PAULSEN (vgl. PAULSEN 1967) mit der Entstehung höherer Gattungen sozusagen plötzlich auftauchen, führen zu der Frage, wie konkret die notwendige Information für die neue Kehlkopfarchitektur und die neue Gesamtkonzeption durch zufällige Evolutionsprozesse entstehen sollten.

Unterschiede zwischen dem Atem- und Kehlkopfsystem von Vögeln, Säugern und Menschen

Das Atemsystem der Vögel ist in Aufbau und Funktion völlig anders: Es hat keine vergleichbare funktionale Überschneidung. Ihre starren Lungen werden durch die Luftsäcke zirkulierend belüftet (vgl. DUNKER 2000; SCHMIDT-NIELSEN 1971, 72–79). Ohne die Überschneidung von Atem- und Ventilfunktion ergibt sich keine Notwendigkeit, den Atem anzuhalten. Besonders für den Langstreckenflug erweist sich diese Konstruktion als großer Vorteil, denn es ermöglicht den Vögeln eine enorme Ausdauer. Wegen der starren Lungen und des Fehlens von Ventilen können Vögel aber folglich Fremdkörper und Krankheitserreger nicht abhusten.

Die Atem- und Ventilsysteme der Säugetiere gleichen denen des Menschen. Die Tatsache, dass diese Atemsysteme Reflexe zur Reinigung

mit sich bringen und Verlautbarungen ermöglichen, deutet auf ein gut durchdachtes Konzept hin. Die Parallelen im Atemsystem zwischen Menschen und Säugetieren sind offenkundig, aber nichtsdestotrotz sind auch Unterschiede festzustellen. Zunächst verändert sich die Lage der Organe in Hals und Rumpf durch die aufgerichtete Körperhaltung des Menschen. Die Lunge und die inneren Organe nehmen eine andere Position zur Erde ein. Auch die Lage des Kehlkopfes und die Formung des gesamten Vokaltraktes¹ kommt in eine andere Ordnung. Beim Menschen ist der Kehlkopf über Bänder und Muskeln in einer hängenden und flexiblen Position angebracht, damit er beim Schlucken oder in der Stimmgebung beweglich ist (vgl. WASCHKE et al. 2015, 573; SPIECKER-HENKE 2014, 256). Der untere Atemtrakt – also Kehlkopf, Luftröhre, Bronchien und Lungen – wird durch Muskelketten und Bändern ausgehend von Schädelbasis und Mundboden in einer vertikalen Anordnung gehalten, die der Gravitation Folge leistet (vgl. SCHÜNKE et al. 2009, 74, 174, 178–181, 208). Diese Beweglichkeit ist auch für die Atmung von essenzieller Bedeutung, da das Zwerchfell den Atemtrakt in seiner Kontraktion nach unten zieht. Nicht nur das Lungengewebe folgt dieser Bewegung, auch die Luftröhre dehnt sich vertikal in der Einatmung um ca. 1,6 cm (vgl. LEONARD 1987, 159).

Abb. 3 veranschaulicht, dass sich zudem die Lage und Proportion von Schädel, Kieferknochen, Zungenbein und Kehlkopf bei Menschen und Säugetieren unterscheiden. Das hat funktionale Folgen für die Bewegungsabläufe, die z. B. bei einem Reflex in Gang gebracht werden. Auch in der Art und Vielfalt der Reflexe bestehen Unterschiede zwischen Tier und Mensch, die eine Abstimmung zwischen dem Vorhandensein von Reflexen und den Bedürfnissen

¹ Vokaltrakt meint den Raum oberhalb des Kehlkopfes, in dem die Artikulation vornehmlich gestaltet wird.

der jeweiligen Systeme erkennen lassen. Anatomische Abbildungen zeigen, dass die Einzelknorpel des Kehlkopfes beim Primat dichter aneinander stehen, als das beim Menschen der Fall ist. Der Kehlräum hat dadurch eine andere Form und ist beim Affen gedrängter, während der Kehlkopfraum des Menschen länglicher und größer erscheint. Den gröberen, äußeren Gegebenheiten schließt sich an, dass es auch in Bezug auf das Gewebe der Ventilsfalten Unterschiede gibt. Bei vielen Primaten besteht das untere Kehlkopfventil (Stimmklappen) vor allem aus muskelfreiem Gewebe, während der Mensch in den Stimmklappen über einen Muskel, den *M. vocalis*, verfügt (vgl. ROHMERT 1987, 185). In der funktionellen Histoanatomie (Bau der Gewebe) vom Kehlkopfdeckel und dem sich darauf anschließenden Raum werden neben Gemeinsamkeiten auch Unterschiede zwischen Schimpanse und Mensch beobachtet. Der Knorpel des Kehlkopfdeckels von Schimpansen wird als dünner beschrieben. Darüber hinaus wird eingeräumt, dass die histologischen Unterschiede die anatomischen Wachstumsprozesse beim Menschen begünstigen und dass diese Unterschiede im Zusammenhang mit der Stimmvarietät des Menschen stehen (vgl. SATO et al. 2023). Nach den Untersuchungen von NAKAMURA et al. (2024) sind die Ventilsfalten bei Madagaskar-Lemuren durchgehend mit „zwei- oder dreischichtigem geschichtetem Plattenepithel bedeckt“. Dieses Epithel ist sehr zugfest und macht es stabil gegen mechanische Reize und Reibung. Das menschliche Kehlkopfepithel ist hingegen im Verlauf unterschiedlich aufgebaut. Mehrschichtig unverhorntes Plattenepithel kommt am freien Rand der Stimmklappen, an einer Schleimhautfalte, die vom Kehlkopfdeckel zu den Stellknorpeln zieht (*Plicae aryepiglotticae*), am Kehlkopfdeckelrand sowie an einer Einkerbung zwischen den beiden Stellknorpeln (*Plica interarytenoidea*) vor. Ansonsten ist der Kehlkopf mit einem Flimmerepithel ausgekleidet, das reinigende und

befeuchtende Eigenschaften hat und mit reichlich Abwehrzellen ausgestattet ist. Somit unterscheiden sich die Taschenfalten beim Menschen deutlich in ihrer Struktur von den Stimmklappen. Diese sind von einem mehrschichtigen Plattenepithel überzogen und drüsenfrei (vgl. LEONARD 1987, 152). Unterhalb der Stimmklappen geht das Epithel wieder in ein Flimmerepithel über. Die Übergänge sind, wie bei WASCHKE et al. (2015) beschrieben, sehr komplex gestaltet: An den Übergangslinien wird das Fasziengewebe der Stimmklappe so fixiert, dass besonders lockeres Bindegewebe unterhalb des Plattenepithels der Stimmklappe einen geschlossenen Raum bilden kann (vgl. WASCHKE et al. 2015, 582). In diesem Raum, der dadurch zwischen den Übergangslinien (*Linea arcuata superior* und *Linea arcuata inferior*) entsteht, liegt das menschliche Stimmbandgewebe. Auf diesen komplexen Gewebeaufbau zwischen Plattenepithel und Vokalismusmuskel wird im Weiteren noch näher eingegangen.

Die Komplexität, mit der sich der menschliche Kehlkopf von den tierischen Kehlköpfen abhebt, erschließt sich letztlich nur auf der Ebene der Stimmklangerzeugung, die eine spezifische Klangstruktur aufweist. Für die einfache Ventilfunktion wäre diese Sonderausstattung nicht von Nutzen. Es stellt sich die Frage, welche Art von Selektionsdruck die Weiterentwicklung für klangliche Komplexität angestoßen haben soll, da diese – im Gegensatz zu anderen Funktionen – vermutlich nicht überlebensnotwendig ist. Zudem hat die gewebliche Struktur, wie sie bei den Madagaskar-Lemuren nachgewiesen ist, eine höhere Belastbarkeit. Das erscheint zunächst von Vorteil, da sie weniger störanfällig ist.

Im Abgleich zwischen den Stimmklängen wurden auch Auswirkungen auf die Obertöne der erzeugten Schallwellen entdeckt (vgl. NAKAMURA et al. 2024). Daraus lässt sich ableiten, dass der Gewebeaufbau im menschlichen

Kehlkopf mit an der Erzeugung spezifischer Klänge für Sprache und den Gesang beteiligt ist. In der evolutionsbiologischen Diskussion werden die organischen Unterschiede des Stimmerzeugungssystems als spezifische Voraussetzung für die Sprachfähigkeit als unbedeutend abgetan (vgl. FITCH 2018) und die Komplexität im menschlichen Kehlkopf als Ursache für die häufigen Konflikte im Stimapparat des Menschen gewertet. Das wiederum würde bedeuten, dass der Mensch in seiner Höherentwicklung auch störanfälliger wurde.

Nicht zu übersehen sind eine ganze Reihe anatomischer Unterschiede, die auch Auswirkungen auf die Klangstruktur haben. Kann man auf dieser Grundlage das Argument, allein die Gehirnfunktion sei der Faktor, um Menschen hinsichtlich der Sprache von Tieren abzugrenzen, redlicherweise weiterhin verwenden?

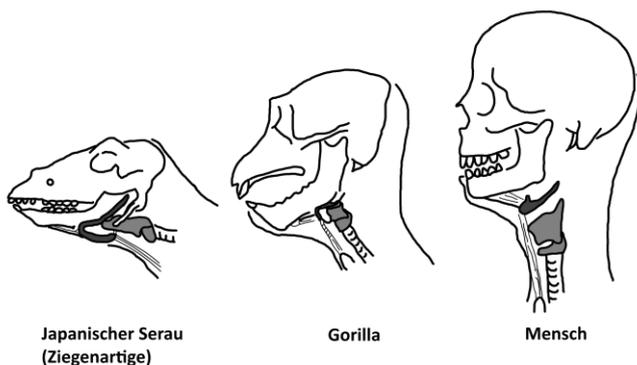


Abb. 3 Die Kehlkopfregion im Vergleich: Schädel, unterer Kieferknochen, Zungenbein und Kehlkopf. (B. SCHOLL nach SAIGUSA 2011, Fig. 2).

3. Die Diskussion um den gesenkten Kehlkopf

Bei verschiedenen Säugetierarten variieren die anatomische Lage der Kehlköpfe sowie ihre inwendige Beweglichkeit. Für den menschlichen Kehlkopf ist bezeichnend, dass er weiter vom

Mund- und Rachenraum entfernt ist und im Gegensatz zu den Tieren eine senkrechte Stellung einnimmt, die durch die oben erwähnte Aufhängung beschrieben wurde. Über lange Zeit galt die tiefe Lage des Kehlkopfes beim Menschen als typisches Merkmal für die dem Menschen vorbehaltene Sprachfähigkeit. Simulationsexperimente mit Modellen eines Langschwanzmakaken-Vokalsystems zeigten, „dass [...] mindestens fünf klar unterscheidbare Vokale und eine verständliche Sprache“ (vgl. FITCH 2018) erzeugt werden könnten. Dies ist jedoch ein bisher rein theoretisches Konstrukt – schließlich wurde die Erzeugung entsprechender Vokale bei lebenden Makaken noch nie beobachtet. Untersuchungen ergaben ebenfalls, dass sich auch bei anderen Säugetieren der Kehlkopf in der Lauterzeugung absenkt (vgl. FITCH 2018). Daraus wird geschlossen, dass die Sprachfähigkeit des Menschen keine menschlich-spezifische organische Grundvoraussetzung hätte.

Der Kehlkopfhochstand erweist sich als Lebensschutz

Nicht von der Hand zu weisen ist, dass auch der Mensch als Säugling einen Kehlkopfhochstand hat, der dem von Säugetieren gleicht (vgl. WASCHKE et al. 2015, 574; SPIECKER-HENKE 2014, 21; FITCH 2018).² Für einen Säugling erweist sich dieser Kehlkopfhochstand in der ersten Lebensphase als ein wirksamer Lebensschutz, denn je größer der Abstand zwischen Rachenraum und Kehlkopf ist, desto größer ist

² „Überraschenderweise“ wurde ein dauerhaft abgesenkter Kehlkopf neben dem Menschen konvergent (evolutionär unabhängig) auch bei Hirscharten, Groß-

katzenarten, Koalas und einigen Huftieren entdeckt, obwohl keines dieser Säugetiere „sprachähnliche Variationen in den Formantmustern“ erzeugt (FITCH 2018, 266).

die Gefahr des Verschluckens von Fremdkörpern (vgl. BAUER 2024).³ Durch den Kehlkopfhochstand ist der Säugling „in der Lage, gleichzeitig zu trinken und zu atmen“ (vgl. WASCHKE et al. 2015, 574). Der Kehldeckel reicht beim Säugling weit in den Rachenraum hinein. So kann die Milch über Einbuchtungen beidseits des Kehldeckels (Recessus piriformes) in die Speiseröhre fließen. Die Absenkung des Kehlkopfes setzt im Wachstum parallel zur körperlichen Aufrichtung etwa ab der 8. Woche ein. Studien bei Primaten belegen, dass sich bei Affen der Kehlkopf ebenfalls im Wachstum absenkt – wenn auch beim Schimpansen nicht so stark wie beim Menschen (vgl. FITCH 2018). Es besteht also auch nach heutigem Wissensstand ein quantitativer Unterschied in der Kehlkopfabsenkung.

Kehlkopfabsenkung und Vokaltrakt

Wissenschaftler beschreiben, dass nicht nur Menschen, sondern auch Affen in der Lage sind, ihr Zungenbein samt Kehlkopf für die Lauterzeugung abzusenken (vgl. NISHIMURA 2017). Erwähnt werden muss aber, dass die Art dieser zeitlich begrenzten Absenkung sich durchaus von der Absenkung in der Ontogenese des Menschen unterscheidet. Die Affen bewirken die eben erwähnte Absenkung für den Moment der Lauterzeugung, wohingegen die Absenkung beim Menschen dauerhaft und Teil eines Wachstumsprozesses ist. Insgesamt bleibt der Kehlkopf dennoch ein bewegliches Organ. Allein im Schluckvorgang bewegt er sich beim erwachsenen Menschen 2–3 cm nach oben und kehrt dann wieder in seine Ausgangsposition zurück (vgl. LEONARD 1987, 159).

³ Nebenbei bemerkt: Nicht nur erwachsene Menschen, sondern auch viele Fische, Vögel und Säugetiere können an ihrer Nahrung ersticken (FITCH 2018, 265).

⁴ Prosodie umschreibt die klanglich charakteristischen Elemente einer Sprache wie Silbenlänge, Betonungen

Bei der Betrachtung anatomischer Abbildungen fällt auf, dass sich die Absenkung des Kehlkopfes von Primaten nur auf den Abstand von Kehlkopf zum Zungenbein bezieht. Beim Menschen entfernt sich dazu auch das Zungenbein von Kiefer und Schädelbasis und der Raum zwischen Gaumensegel und Kehldeckel ist deutlich größer, wodurch ein völlig anderer Vokaltrakt oberhalb des Kehlkopfes entsteht. Durch die Absenkung des Kehlkopfes bilden sich also Resonanz- und Artikulationsräume, die andere Lebewesen in dieser Art nicht haben. Neben den beschriebenen räumlichen Unterschieden im Rachenraum hat der Mensch auch einen kürzeren harten Gaumen. Geeint schenken diese Faktoren der Zunge eine größere Beweglichkeit und erweitern die Artikulationsmöglichkeiten beim Menschen erheblich (vgl. ROHMERT 1987, 186). Des Weiteren fällt im Vergleich der Anatomie auch die Schädelform des Menschen mit erheblichen Unterschieden zu den Tieren auf. Die Räume oberhalb des Gaumensegels stellen in der Stimmgebung wertvolle Resonanzräume für den Stimmklang dar, die durch ihre architektonische Gestalt auch Einfluss auf die Klanggestalt haben. Alle diese Gegebenheiten sind eine wesentliche organische Voraussetzung für die Erzeugung differenzierter Sprachlaute. Ohne diese spezifischen Räume können zwar Laute erzeugt werden, aber eine differenzierte Artikulation und Prosodie⁴, wie menschliche Sprachen es erfordern, ist nicht möglich (SPIECKER-HENKE 2014, 274ff.).

Räumliche Formen spielen in der Akustik eine wichtige Rolle

und die Länge und Tonhöhe einzelner Silben. So gibt es auch Sprachen, in denen nicht nur der Vokal oder eine Silbe für sich eine Bedeutung trägt, sondern die Tonhöhe in der Sprachmelodie über den Sinn entscheidet.

Im Vergleich anatomischer Abbildungen ist darüber hinaus ersichtlich, dass der menschliche Kehlkopf einen weitaus größeren Resonanzraum bietet, während der Primaten-Kehlkopf im Vergleich sehr gedrängt erscheint. Nach den Lehren der Akustik haben alle räumlichen Gegebenheiten und alle Spannungszustände eine Auswirkung auf den Klang und dürfen nicht unbeachtet bleiben (vgl. ROHMERT 1987, 17–56). Die Wachstumsprozesse folgen im Übrigen ontogenetisch einer exakten Choreografie, die genetisch festgelegt ist (vgl. WASCHKE et al. 2015, 573f). Nachweislich steht die Absenkung des Kehlkopfes beim Menschen im direkten Zusammenhang zur Bildung des Vokaltraktes sowie zum Beginn der stimmlichen Entwicklung. Die Gravitation wirkt sich ebenfalls senkend auf die inneren Organe aus. Der Atemtrakt schließt sich mit der Luftröhre an den Kehlkopf an, dieses Gewicht wirkt sich ebenfalls senkend auf das Organ aus. Zur Welt kommt der Säugling mit Kehlkopfhochstand, aber auch mit allen Voraussetzungen für die folgende Stimmentwicklung. Genetisch ist die Abfolge der Wachstumsprozesse und die spätere Anatomie schon im Bauplan enthalten. In den ersten Lebenswochen hat der Vokaltrakt durch den Hochstand des Kehlkopfes noch nicht die endgültige Form. Wie schon erwähnt, dient dieser Zustand dem Lebensschutz. Die Stimmlippen können allerdings schon ohne den ausgeformten Vokaltrakt durchdringende Klänge erzeugen. Von Geburt an ist eine archaische Lautäußerung möglich. Die Verlautbarungen der Säuglinge sind zu diesem Zeitpunkt in allen Sprachfamilien die gleichen. Mit einer Grundfrequenz von ca. 400 Hz und erstaunlicher Kraft kann der Säugling schon von Anfang an emotionale Zustände vermitteln. Alle in der Entwicklung folgenden Veränderungen geschehen in einem durchgehend funktionstüchtigen System. Lediglich im Stimmbruch, der Wandlungsphase

von der Kinderstimme zur Erwachsenenstimme, kommt es z. T. zu stimmlichen Beeinträchtigungen. Beim Menschen kommt es in der Choreografie des Wachstumsprozesses schließlich zu einer starken Absenkung des Kehlkopfes, die das Absenken des Kehlkopfskeletts gegenüber dem Zungenbein wie auch die Absenkung des Zungenbeins gegenüber dem Gaumen umfasst. Der dadurch entstehende Raum ist in seiner Konfiguration unter den Lebewesen einzigartig (vgl. NISHIMURA T et al. 2008).

Der durch die Absenkung von Kehlkopfskelett und Zungenbein entstehende Raum beim Menschen ist in seiner Konfiguration unter den Lebewesen einzigartig.

Die vokale und konsonantische Differenzierung kann dann einsetzen, wenn die Kehlkopfabsenkung den an der Artikulation beteiligten Organen im Vokaltrakt ausreichend Freiraum schenkt, um sich gestalterisch an der Verlautbarung zu beteiligen. Mit der Absenkung von Zungenbein und Kehlkopf moduliert sich ein für die Sprache absolut bedeutender Raum. Die frühkindliche Lautentwicklung beim Menschen setzt parallel zur Absenkung des Kehlkopfes ein – und die Absenkung wird zudem durch die Aufrichtung, die damit verbundene Verlagerung des Körperschwerpunktes und die Gravitationswirkung in einer vertikalen Körperhaltung begünstigt (vgl. STEMME et al. 1998, 51ff., 110ff.). Viele Entwicklungen im frühen Kindesalter laufen parallel zueinander ab und es gibt zahlreiche Überschneidungen, wie auch ein Zusammenspiel von Wachstum, Aufrichtung, Beweglichkeit, und Wahrnehmung, die alle mit dem Spracherwerb in Verbindung gebracht werden können (GRUNWALD 2017, 88–92). Ab einem Grad der Absenkung beginnt die Phase der Stimmerprobung: Die menschliche Sprachentwicklung findet zunächst spielerisch mit dem Entdecken des eigenen Variationsreichtums statt. Das Baby formt neue

Klänge und experimentiert mit Zunge, Gaumen und Rachen. Es übt die Koordination dieser für Sprache relevanten Organstrukturen. Es probiert Tonhöhenwechsel, es lallt und formt erste Silben. Dabei bringt es mitunter auch Laute zu Gehör, die der eigenen Sprachfamilie, in der es aufwächst, fremd sind. Zu diesem Zeitpunkt ist der Mensch in der Lage, jedwede Sprache zu erlernen (LIEBI 2018, 52). Zunehmend imitiert das Kleinkind schließlich die Klänge, Tonhöhen, Rhythmen und Silben der Sprache, die es in seinem Umfeld erlebt. Das jeweilige soziale Umfeld prägt die Entwicklung und die Stimme wird auf die Muttersprache konditioniert. Zwischen der Kehlkopfabsenkung, der Ausbildung eines einzigartigen Vokaltraktes und der Sprachfähigkeit besteht also ein direkter Zusammenhang.

Der bekannte Evolutions- und Kognitionsbiologe W. Tecumseh FITCH (2018) schreibt der Kehlkopfposition eine untergeordnete Rolle zu, übergeht dabei aber die Tatsache, dass die Erzeugung von Vokalen und Konsonanten eine flexible Verformung des Vokaltraktes voraussetzt. Er lässt dabei die Aspekte der Raumakustik, wie die des Schwingungsverhaltens und die Ausbreitung der für den Stimmklang charakteristischen Frequenzen oder das Resonanzverhalten menschlicher Gewebe und Körperräume außer Acht. Zwischen Kehlkopfgebe, -architektur und dem Stimmklang bestehen eindeutig Zusammenhänge. Jeder Raum verfügt über Eigenresonanzen, die den Klang beeinflussen. Zudem können architektonische Formungen wie Nischen, Mulden oder Unebenheiten den Klang verwirbeln und den Gesamtklang ebenfalls mit hohen Frequenzen anreichern. Spezifische hohe Frequenzen haben zudem Einfluss auf die Verständlichkeit und die Tragweite des Stimmklangs. Die vielseitigen anatomischen Formen, die unter den Lebewesen zu entdecken sind, verleihen jeder Tierart einen individuellen Sound und machen

auch die menschliche Stimme zu etwas Einzigartigem.

Die artikulatorischen Differenzierungen menschlicher Sprachen setzen die Anatomie und Flexibilität der Einzelstrukturen im menschlichen Vokaltrakt voraus und stehen im Zusammenhang der für den Menschen typischen Anatomie der Resonanzräume. Dieser physiologische Trakt umfasst zur Erzeugung vielseitiger Konsonanten und Vokale neben dem Rachenraum auch die Zunge sowie den Nasen- und Mundraum, die ihrerseits weitere anatomische Unterschiede zu den Primaten aufweisen. Ohne diese Anatomie wäre es nicht möglich, die komplexen Gedanken in einen ebenso komplexen Code aus Schallwellen zu übermitteln (vgl. MEIBAUER et al. 2015, 74ff.).

Weitere Unterschiede in der Anatomie

Im Vergleich von Affe und Mensch in Bezug auf den Kehlkopf und den mit ihm in Verbindung stehenden Organen, fällt eine weitere Struktur ins Auge: Alle Menschenaffen verfügen über große Luftsäcke, die vom Kehlkopf aus belüftet werden (vgl. FITCH 2018). Menschen, obschon phylogenetisch (stammesgeschichtlich) zu den Hominoïden (Menschenaffen im weiteren Sinn) gerechnet, verfügen nicht über eine solche anatomische Struktur. Das wird von FITCH (2018) als evolutionärer Verlust interpretiert. Übergangsformen sind nicht beschrieben.

Menschenaffen besitzen Luftsäcke, Menschen nicht – Übergangsformen sind aber nicht bekannt.

Die Funktion der Luftsäcke bei Affen ist zudem noch umstritten. Mögliche Funktionen könnten sein: Die Speicherung der ausgeatmeten Luft zur Erhöhung der Sauerstoffaufnahme, eine zusätzliche Schallquelle z. B. für sich in langer Abfolge wiederholende Rufe oder ein Resonanzraum, um laute und lange Rufe zu erzeugen, oder als Puffer gegen Druck, der durch

die dreidimensionale Fortbewegung in Bäumen entsteht (vgl. NISHIMURA et al. 2005). Im Fall der arttypischen Fortbewegung bestünde ein Bezug zum oben beschriebenen Doppelventil. Da es auch im menschlichen Kehlkopf interessante Mehrfachfunktionen gibt, auf die an anderer Stelle eingegangen wird, wäre m. E. auch eine Kombination mehrerer Funktionen denkbar. Die Ansicht von FITCH (2018) ist, dass der Mensch durch die Absenkung des Kehlkopfes die Luftsäcke kompensiert habe. Er gibt aber ebenfalls zu, dass solch eine These erst dann bestätigt werden könnte, wenn die genaue Funktion der Luftsäcke geklärt wäre. Eine von FITCH (2018) bevorzugte Erklärung zur Funktion der Luftsäcke ist, dass diese die Formantfrequenzen verändern könnten. Das würde bedeuten, dass die Luftsäcke Einfluss auf die Klangstruktur hätten und auch darin ein Zusammenhang von Kehlkopf und Luftsack bestünde. Im Bezug zur Klangstruktur sollte beachtet werden, dass die Zusammensetzung einer Schallwelle im Zusammenhang zum jeweiligen Schallempfänger stehen muss. Die Anatomie der Ohr Räume ist auf die für den menschlichen Stimmklang kennzeichnenden Frequenzen abgestimmt (vgl. LANDZETTEL & ROHMERT 2015, 57–66). Man kann davon ausgehen, dass dieses Phänomen in der Regel auf jedes Lebewesen zutrifft. Im Tierreich gibt es allerdings auch Arten, die Töne außerhalb ihres eigenen hörbaren Frequenzbereiches ausgeben – dies kann dann der interspezifischen (artübergreifenden) Kommunikation dienen wie der Abschreckung von Fressfeinden, statt der intraspezifischen Kommunikation. Aber auch hier liegt jeweils eine Abstimmung zwischen Sender und Empfänger vor. Vereinfacht gesagt verfügt jedes Lebewesen über einen Frequenzbereich, den es zur Kommunikation innerhalb seiner Art wie auch im gegebenen Fall für seinen Lebensschutz artübergreifend benötigt sowie über entsprechende Empfangsorgane,

die es ermöglichen das zu hören, was gehört werden muss. Auch der Mensch hat ein Gehör, das auf seine Lebensweise und seinen Lebensraum hin konzipiert ist. Das Gehör einer Fledermaus würde den Menschen nicht „besser“ machen. Wir sind mit den Ohren ausgestattet, die für unser Leben als Mensch gut sind (vgl. SPITZER 2004, 50).

Empfangsorgane und der Frequenzcode des Senders sind aufeinander abgestimmt.

Im Fall der Luftsäcke werden alle möglichen Funktionen diskutiert, wie eine höhere Sauerstoffaufnahme, die Druckregulation für die Stabilisation des Rumpfes sowie eine mögliche Schallerzeugung oder Resonanzfunktion im Zusammenhang mit den Kehlkopffunktionen – teilweise sogar im Zusammenhang mit der Lauterzeugung. Das wäre der Fall, wenn sie wie ein Blasebalg bei der Lauterzeugung fungieren, als Resonanzraum dienen, um die Laute in Volumen und Länge zu unterstützen, oder wenn sie auf die Klangstruktur Einfluss hätten. Das lässt darauf schließen, dass das anatomisch-physiologische Konzept der Lauterzeugung zwischen Mensch und Affe doch mehr Unterschiede mit sich bringt, als von Evolutionsbiologen allgemein suggeriert wird.

FITCH (2018) übergeht m. E. die Komplexität im Zusammenspiel von Anatomie, Klangsendung und Klangempfang. Dabei ist es sehr naheliegend, dass jeder Sender in Abstimmung zum Empfänger stehen muss. Schließlich räumt auch FITCH ein, dass die menschliche Anatomie einzigartig ist.

4. Der Zusammenhang von Gewebe und Klang

Die filigrane und äußerst differenzierte Gewebestruktur des menschlichen Kehlkopfes steht in Zusammenhang mit einem variablen und

brillanten⁵ Stimmklang. Die schon beschriebenen Besonderheiten der menschlichen Gewebestruktur im Kehlkopf werden im folgenden Abschnitt erweitert und vertieft. Für die Doppelventilfunktion und selbst für eine rudimentäre Lautbildung wäre die Ausstattung, die jeder Mensch in sich trägt, nicht zwingend notwendig. Durch die vielfältigen Kehlkopfarten tritt auch im Tierreich klanglich eine erstaunliche Vielfalt und Komplexität zutage: Von NAKAMURA wird beispielsweise der einzigartige Kehlkopffinnenausbau von Madagaskar-Lemuren beschrieben, der selbst unter Lemuren eine Sonderstellung einnimmt, da diese Art über eine Art Zusatzfalte am oberen Kehlkopfventil verfügt, die zu einer klanglichen Besonderheit führt (vgl. NAKAMURA 2024). Damit steht auch diese Einzigartigkeit im Zusammenhang mit einem der jeweiligen Art angepassten Phonationssystem.

Anatomie und Gewebe stehen immer in Beziehung zum Klang.

Die Unterschiede in Anatomie und Gewebe haben immer auch Auswirkungen auf den Klang und bilden die Grundlage für jeweils arttypische Laute. Jede Art von Material verfügt immer über spezifische Schwingungs- und Resonanzeigenschaften. Diese „Material“-Eigenschaften haben zunächst Einfluss auf die molekularen Schwingungsabläufe und wirken sich ebenfalls auf ihre Reaktion auf eine ankommende Schallwelle aus. Materialien können eine Schallwelle absorbieren, sie schlucken, sie abprallen lassen und sie reflektieren – teilweise nehmen sie die Schallwelle sogar auf, sodass sie von ihr durchdrungen werden und mitschwingen. In diesem Fall liegt eine Resonanz vor (vgl. LANDZETTEL & ROHMERT 2015, 43 ff). In der Resonanz gibt das Gewebe oder

das Material der Schallwelle den Schwingungscharakter des eigenen Klanges mit auf den Weg. Weitere Frequenzen treten so im Gesamtklang zutage oder werden verstärkt. Der Klang wird dementsprechend durch spezifische Formanten angereichert. Das Resonanzverhalten kann eine Schallwelle beleben, färben und gestalten. Jede Schallwelle unterliegt den Gesetzen der Akustik, nach denen neben dem Material auch der Resonanzraum einen großen Einfluss auf die den Klang kennzeichnenden Frequenzen hat. Am Frequenzspektrum der Stimme sind das Kehlkopfgewebe und die charakteristischen Resonanzräume maßgeblich beteiligt. Das Frequenzspektrum wiederum hat Einfluss auf die Wirkung eines Klanges auf den Körper (vgl. LANDZETTEL & ROHMERT 2015, 57ff). Diese fein abgestimmte Wechselbeziehung deutet m. E. durchaus auf eine nicht reduzierbare Komplexität hin. Um die Relevanz des spezifischen Innenausbaus des Kehlkopfes zu veranschaulichen, gilt daher zunächst dem menschlichen Kehlkopf die Aufmerksamkeit.

Der menschliche Kehlkopf

Der menschliche Kehlkopf besteht aus Knorpelgewebe, Muskeln und differenziertem Bindegewebe (WASCHKE et al. 2015, 572–584; SCHÜNKE et al. 2009, 192–199): Alle Kehlkopfknorpel stehen in beweglichem Kontakt zueinander. Bewegt werden sie durch innere und äußere, hauptsächlich paarig angelegte Muskeln. Die vielseitigen Kehlkopffunktionen erfordern höchste Stabilität und enorme Beweglichkeit. Nach oben bildet der Kehldeckel eine flexible Begrenzung. Nach vorne legt sich der Schildknorpel schützend vor das Kehlkopf-Innere. Unten grenzt der Ringknorpel an die

⁵ Brillanz umschreibt ein Schwingungsphänomen hoher Frequenzen, welche den menschlichen Stimmklang charakterisieren. Sie entsteht durch Gewebeschwingung

und Klanganreicherungen in Resonanzräumen des Körpers und schenkt dem Stimmklang Tragfähigkeit und Strahlkraft.

Luftröhre. Der Ringknorpel formt sich nach hinten zu einer Art Siegelkopf. Darauf balancieren zwei pyramidenförmige Stellknorpel, an die sich weitere kleine, elastische Knorpel schmiegen. Hochspezialisiertes Gewebe kleidet den Kehlkopfinnenraum aus. Zwei wulstige muskelfreie Ausstülpungen bilden die Taschenfalten. Im Doppelventilsystem erfüllen sie die Funktion des Überdruckventils. Die Schließung wird durch Druck erzeugt, der von außen auf den Kehlkopf einwirkt. Zusätzlich ist das Gewebe der Taschenfalten von Drüsen durchzogen, die u. a. für die Befeuchtung der darunter liegenden Stimmlippen sorgen. Zwischen den Taschenfalten und Stimmlippen bildet sich beidseitig eine Vertiefung, die Morgagnischen Ventrikel. Sie schenken den Stimmlippen Bewegungsfreiheit und sind bezüglich der Raumakustik ein wesentliches Bauelement. Nischen und Vertiefungen lassen die Klangschwingungen verwirbeln und reichern sie durch Eigenfrequenzen an.

Der menschliche Kehlkopf hat einen komplexen Innenausbau.

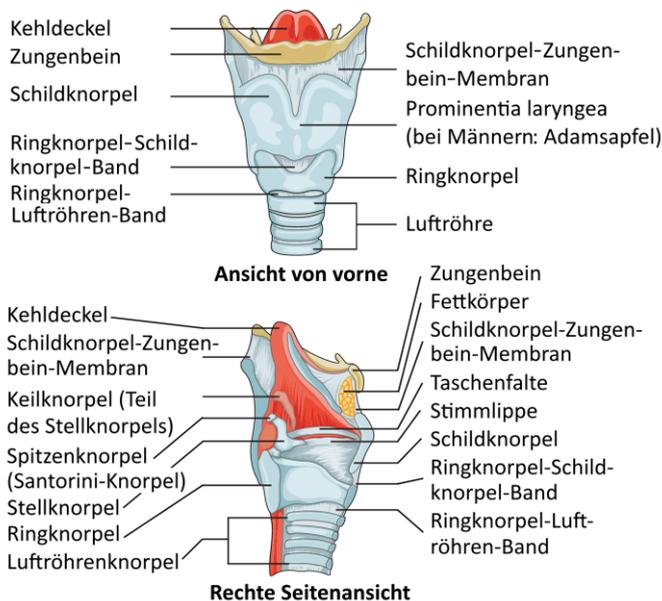


Abb. 4 Bestandteile des menschlichen Kehlkopfs von vorne und von der Seite. (B. SCHOLL nach OpenStax College - Anatomy & Physiology, Connexions Website. <http://cnx.org/content/col11496/1.6/>, Jun 19, 2013., CC BY 3.0)

Ein komplexer Mechanismus ermöglicht Stimmlippen und Stellknorpeln, zwei Funktionen zu kombinieren. Dieser Mechanismus wird durch sieben zum Teil paarig angelegte Muskeln bewegt: M. thyroarytenoideus, Pars interna (= M. vocalis), M. thyroarytenoideus, Pars externa, M. arytenoideus transversus, M. arytenoideus obliquus, M. cricoarytenoideus lateralis, M. cricoarytenoideus posterior und M. cricothyroideus transversus.

Diese sieben Muskeln sind dazu in der Lage, die Einsatzqualität des Unterdruckventils in eine musikalische Klanggebung durch eine differenzierte Schwingung der Stimmlippen zu wandeln. Durch die anatomische Bezeichnung des Unterdruckventils als Stimmlippe gerät leicht in Vergessenheit, dass sie ebenfalls Teil des Doppelventilsystems sind.

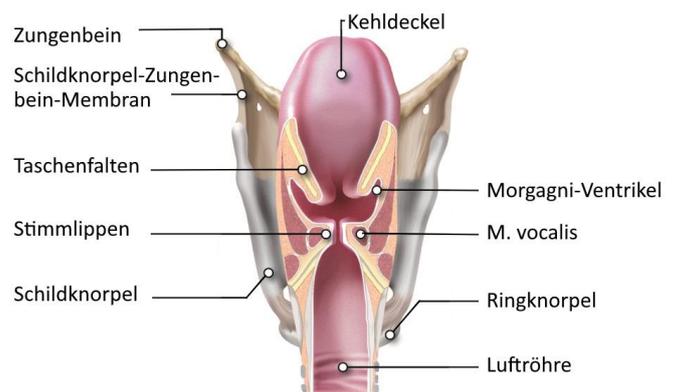


Abb. 5 Kehlkopf mit seinen Bereichen: oberer Bereich (Epiglottis), mittlerer Bereich (Glottis) und unterer Bereich (Subglottis). (B. SCHOLL nach Alan Hoofring - the National Cancer Institute, Public Domain)

Die Stimmlippen

Die Stimmlippen stehen im Kehlkopf für sehr unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten zur Verfügung. Öffnung und Schließung werden durch Ein- und Ausdrehen der Stellknorpel über ein sehr komplexes Muskelspiel bewerkstelligt. Durch die Gelenkigkeit der Stellknorpel können die Stimmlippen über eine Drehung mit feinen Abstufungen in entsprechende Positionen geführt werden:

- eine sichere Öffnung für die Atmung, maximale Öffnung für Tiefenatmung
- einen festen Verschluss für die Ventilfunktion
- eine schwingungsbereite Schließung und Öffnung für die Klangschwingung der Sprech- und Singstimme
- vorne einen dichten Verschluss und eine kleine Öffnung im hinteren Teil für die Flüsterstimme
- eine nahe Stellung der Stimmlippen zueinander für die Funktion des Hauchens, indem die spezifische Nähe der Stimmlippen den Luftstrom hörbar macht

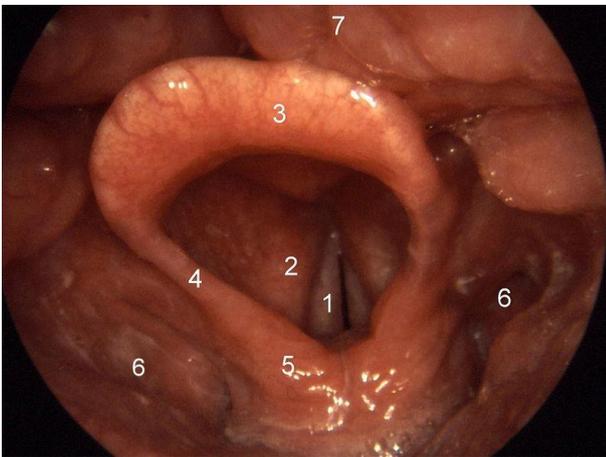


Abb. 6 Blick auf den Kehlkopf bei einer Laryngoskopie: **1** Stimmlippe, **2** Taschenfalte, **3** Kehldeckel, **4** Plica aryepiglottica (Schleimhautfalte im unteren Rachen die vom Kehldeckel zum Stellknorpel führt), **5** Aryhöcker (Schleimhautwölbungen der Spitzenknorpel, die wie „Hütchen“, auf den Stellknorpeln thronen), **6** Sinus piriformis (eine kleine Aussparung auf beiden Seiten des Kehlkopfeinlasses; die Strukturen sind an der Artikulation beteiligt), **7** Zungengrund. (I, Welleschik, CC BY-SA 3.0)

Die Variationsvielfalt in der Stellung der Stimmlippen zueinander ermöglicht dem Menschen eine hohe Variabilität von Hauchen, Flüstern, Sprechen oder Singen (vgl. SPIECKER-HENKE 2014, 257ff; PAULSEN & WASCHKE 2010, 12f). Als schwingende Saiten benötigen die

Stimmlippen für Tonhöhen und Lautstärke zudem variable Spannungsgrade.

Ein fein justierter Regelkreis ermöglicht einen vielfältigen und kunstvollen Stimmeinsatz.

Drei Kehlkopfmuskeln, paarig angeordnet, justieren in einem feinen Regelkreis Länge, Volumen und Vibrationsgeschwindigkeit der Stimmlippen: Der Musculus cricoarytenoideus, der M. vocalis und der M. arytenoideus lateralis. Die Kombination von Länge, Volumen und Vibrationsgeschwindigkeit ermöglicht den erstaunlichen Tonumfang der menschlichen Stimme und eine frappierend feine Intonation. Die Abstimmung zwischen den genannten Muskeln ermöglicht es zum Beispiel, bei gleichbleibender Lautstärke einen Tonhöhenwechsel vorzunehmen oder lauter zu werden, ohne dass die Tonhöhe sinkt. Eine zopfartige Struktur im M. vocalis erlaubt feinste Abstufungen im Tonus und hält die Sauerstoffversorgung in der Kontraktion aufrecht, was den Muskel quasi unermüdbar macht. Diese Eigenschaft ist besonders für den Säugling wichtig, um nahezu unermüdbar schreien zu können. So kann der durchschnittliche Mensch mit wenigen Zentimetern Saite Töne in einem Umfang von 1,5–2,5 Oktaven erzeugen⁶ – und das in unterschiedlicher Lautstärke und in variablen Klangfärbungen. Ein Wort oder Ton kann gerufen, geflüstert, geschrien, gegrölt, gesäuselt usw. werden – und damit dem Wortinhalt noch eine weitere Information hinzufügen. Im Schwingungsprozess sind die Stellknorpel großen Fliehkräften ausgesetzt. Um ein Abgleiten vom Ringknorpel zu verhindern, werden sie von speziellen Bändern wie die Segel eines Bootes beweglich und doch sicher gehalten.

⁶ Bei Ausnahme-Gesangstalenten können es auch 5 Oktaven und mehr sein: Vgl. z. B. <https://www.srf.ch/radio->

[srf-3/musik/musik-wer-hat-den-groessten-stimmumfang-axl-rose-schlaegt-mariah-carey](https://www.srf.ch/radio-3/musik/musik-wer-hat-den-groessten-stimmumfang-axl-rose-schlaegt-mariah-carey), aufgerufen am 21.10.2024.

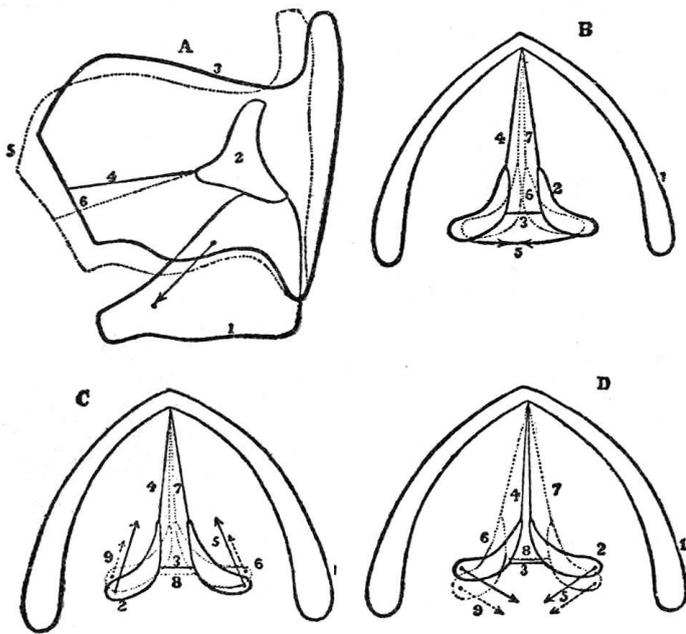


Abb. 7 Darstellung der Wirkung der Kehlkopfmuskeln: Die gestrichelten Linien zeigen die Positionen, die die Knorpel und die Stimmlippen durch die Wirkung der verschiedenen Muskeln einnehmen. Die Pfeile zeigen die allgemeine Richtung, in der die Muskelfasern wirken. (Beaunis & Bouchard (1911) Voice. Encyclopædia Britannica (11th ed.), v. 28, 1911, p. 174, fig. 6., Public Domain)

A. Wirkung des Musculus cricothyroideus: 1 M. cricothyroideus; 2 Stellknorpel; 3 Schildknorpel; 4 Stimmlippe; 5 Schildknorpel, neue Position; 6 Stimmlippe, neue Position.

B. Wirkung des Musculus arytenoideus transversus und obliquus: 1 Schildknorpel; 2 Stellknorpel; 3 hinterer Teil der Stimmlitze (Flüsterdreieck); 4 Stimmlippe; 5 Richtung der Muskelfasern in der Kontraktion; 6 Stellknorpel, neue Position; 7 Stimmlippe, neue Position. Anmerkung: Der M. arytenoideus transversus schließt durch Annäherung der Stellknorpel zueinander die Stimmlitze. Der M. arytenoideus obliquus verläuft wie ein hinten überkreuztes Band, er zieht die Stellknorpel nach innen, was besonders die Schließung der Stimmlitze im hinteren Teil betrifft. Bleibt die Ritze hier geöffnet entweicht Luft in der Phonation. Beim Flüstern kommt dieser Bereich zum Tragen.

C. Wirkung des Musculus cricoarytenoideus lateralis: gleiche Beschreibung wie bei A und B; 8 hinterer Rand der Epiglottis, neue Position; 9 Stellknorpel in neuer Position. Anmerkung: Der M. arytenoideus lateralis führt die Stellknorpel durch eine Drehung zueinander. Das hat Auswirkung auf die gesamte Stimmlitze.

D. Aktion des Musculus cricoarytenoideus posterior: gleiche Beschreibung. Anmerkung: Der M. cricoarytenoideus posterior erweitert die Stimmlitze durch Auswärtsdrehen des Processus vocalis (= der zur Stimmlippe auslaufende Teil des Stellknorpels).

Die Lamina propria der Stimmlippe

Der Überzug der Stimmlippen (Lamina propria) wartet mit weiterer Komplexität auf (vgl. ROHMERT 1987, 26ff.; LANDZETTEL & ROHMERT

2015, 16, 21–31; SPIECKER-HENKE 2014, 260ff.; WASCHKE et al. 2015, 582). Der M. vocalis wird von mehrschichtigem Fasziengewebe ummantelt. Diese Ummantelung kann auf die wechselnden Spannungszustände, Vibrationsgeschwindigkeiten und ein variierendes Stimmlippenvolumen reagieren. Die Möglichkeit, nur den Überzug oder die gesamte Lippe in Schwingung zu versetzen, ermöglicht das Singen in unterschiedlichen Registern, die als „Kopf- und Bruststimme“ bekannt sind. Dieser Registerwechsel ermöglicht vielfältige Klangvariationen und begünstigt den Stimmumfang, obschon eine physiologische Klangerzeugung über die Oktaven hinweg nicht von einem Registerwechsel abhängen muss (vgl. FÖCKING & PARRINO 2015, 45ff.).

In die Lamina propria sind Knötchen (Noduli elastici) eingelagert (vgl. PAULSEN & TILLMANN 1996). Sie produzieren neues Gewebe, damit die Elastizität der Stimmlippen erhalten bleibt, und ermöglichen eine gedämpfte Dehnung im Stimmeinsatz.

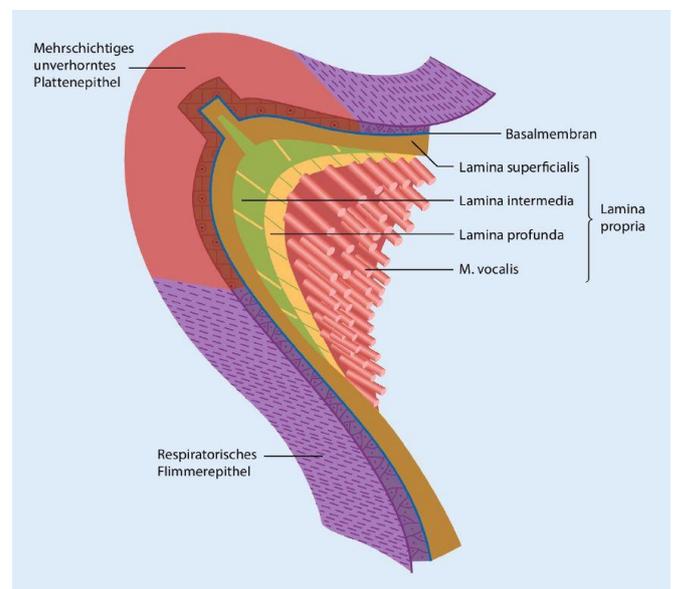


Abb. 8 Schematischer Aufbau der Stimmlippe. (GUGATSCHKA et al. 2021, HNO, CC BY 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

Die Lamina propria, die sich unter dem Plattenepithel aufschichtet, wird in der Literatur unterschiedlich benannt. Nach dem *Body-Cover Modell* von HIRANO aus dem Jahr 1987 werden

drei Schichten beschrieben (vgl. ROHMERT 1987, 26–28; SPIECKER-HENKE 2014, 260f): Bindegewebe mit hohem Kollagenfaseranteil bildet die tiefe Schicht um den M. vocalis (*deep layer*). Darauf folgt eine weiche, geleeartige Elasticschicht (*intermediate layer*), auf die lockeres Bindegewebe (*superficial layer*) folgt. Eine andere gängige Terminologie beschreibt die Gewebeformation an der Stimmlippe unterhalb des Plattenepithels als „Reinke Raum“, obschon es sich nicht um einen Raum, sondern um Schichten handelt (vgl. PRESCHER 2010; WASCHKE et al. 2015, 582). Die beiden äußeren Schichten verfügen über eine enorme Gleitfähigkeit, während die untere Schicht mit dem M. vocalis verwachsen ist. Jede Schicht hat ein eigenes Schwingungsverhalten, was bezogen auf die Ventilfunktion keinen Nutzen hat, an der Erzeugung obertonreicher Klänge aber maßgeblich beteiligt ist.

Der Bernoulli-Effekt entlastet die Stimmgebung.

Bei physiologischem Stimmeinsatz und einer gesunden Ummantelung eröffnet die Gleitfähigkeit des *Body Cover* das physikalische Schwingungsprinzip des *Bernoulli-Effekts* (vgl. PRESCHER 2010, SPIECKER-HENKE 2014, 244, 261; FÖCKING & PARRINO 2015, 41). Dabei erzeugen Luftverwirbelungen unterhalb der Stimmlippen während der Klangschwingung einen Sog, der die rasante Geschwindigkeit der Schwingung bei minimalem Kraftaufwand aufrechterhält: Im Stimmeinsatz führen die Stellknorpel die Stimmlippen zueinander. In dieser Stellung verweilen sie während der Stimmklangerzeugung. Die synchrone Vibration der beiden Stimmlippen führt zu einer schnellen Abfolge von Schließung und Öffnung in der Stimmlippenritze. Im Moment des Verschlusses baut sich durch die zuvor eingeatmete Luft ein Luftdruck unterhalb der Stimmlippen auf, der sich im Moment der Öffnung entlädt. Der Abfall des Luftdrucks führt zu Verwirbelungen und hat so einen Sog zur Folge, der die Stimmlippen wieder zueinander zieht. Damit erfolgt die

Schließung während der Vibration nicht durch Muskelkraft, sondern durch ein physikalisches Prinzip – ein Effekt, der die Kehlkopfmuskulatur entlastet und die Klangschwingung begünstigt. Die Stimmlippen bleiben in der Klangschwingung stets glatt, in welche Richtung sie auch immer bewegt werden, ob bei Dehnung oder Verkürzung, Schwellung, Öffnung oder medialer Kompression. Der Aufbau der Stimmlippe weist darauf hin, dass die zugrunde liegende Idee in der Stimmklangerzeugung auf einen Variationsreichtum, Effizienz und auf die Bildung der spezifischen Frequenzen in der Brillanz ausgelegt ist. Material und Architektur ermöglichen es, mit Leichtigkeit einen Klang zu erzeugen, der reich an Frequenzen sowie ästhetisch ist und mühelos aufrechterhalten werden kann. Die Konzeption im Aufbau und Funktionalität des Stimmsystems ist darauf ausgelegt, dass der Mensch auf unaufwändige Weise tragfähige und ästhetische, an Obertonfrequenzen reiche Klänge erzeugen kann.

Die komplexe Struktur des Stimmklangs

Der frequenzreiche menschliche Stimmklang lebt von Vibration und Resonanzfähigkeit, und das Gewebe der Lamina propria leistet einen wesentlichen Beitrag dazu. Der spezielle Aufbau der Stimmlippen ist äußerst relevant für die charakteristischen Merkmale der menschlichen Stimme. Im Wechselspiel mit den Resonanzräumen entstehen obertonreiche Klänge, die der Stimme Tragfähigkeit und Verständlichkeit ermöglichen (vgl. FÖCKING & PARRINO 2015, 50–52).

Der menschliche Stimmklang ist ein hochkomplexes Phänomen und steht in hoher Abstimmung zu den Ohren und zum gesamten Organismus.

Die Obertöne der menschlichen Stimme sind keine rein ästhetische Angelegenheit. Sie machen den Stimmklang tragfähig, fördern die Verständlichkeit der sehr differenzierten Laute

im Sprachcode und haben rückkoppelnd einen positiven Einfluss auf das Körpersystem. Ein physiologisch obertonreicher Stimmklang weist charakteristische Formanten⁷ auf, die in einem klar definierten Frequenzspektrum im goldenen Schnitt bei 3000 Hz, 5000 Hz und 8000 Hz liegen (vgl. FÖCKING & PARRINO 2015, 50–52; LANDZETTEL & ROHMERT 2015, 61, 69). Diese Formanten stehen in erstaunlicher Abstimmung zu den Eigenfrequenzen unserer Ohr-Räume (vgl. LANDZETTEL & ROHMERT 2015, 58–66). Kehlkopf und Ohren sind in Klangzeugung und Klangwahrnehmung bestens aufeinander abgestimmt. So sind beide Organe anatomisch über den Rachenraum und die Eustachischen Röhren, wie auch über Muskelketten, die vom Mittelohr bis zum Kehlkopf reichen, in direkter Verbindung. Die Vernetzung wird durch die hohe Abstimmung von Frequenz und Ohrraumarchitektur gekrönt. Beide Organe bilden in Bezug auf Sprache und Gesang einen systemischen Regelkreis. Dieser lebt vom Wechselspiel der charakteristischen Formanten und der darauf abgestimmten Architektur der Ohrräume. Diese feine Abstimmung lässt sich m. E. nur schwerlich mit zufälligen, zukunftsblinden Evolutionsfaktoren erklären. Ontogenetisch entwickeln sich Ohr und Kehlkopf aus unterschiedlichen Schlundbögen heraus (vgl. WASCHKE et al. 2015, 68, 486, 573). In den Primärfunktionen agiert das System Kehlkopf unabhängig vom Ohr. Dazu zählen die oben beschriebenen Schutzfunktionen oder die Doppelventilfunktion. Diese im Organ angelegten Schutz- und Regulationsfunktionen laufen in gewissem Sinn unabhängig vom Ohr ab. Wechselt die Funktion jedoch in die Gestaltung und Wahrnehmung von komplexen Klängen, müssen sich die Systeme miteinander ver-

netzen. Zu den an der Stimmfunktion beteiligten Systemen mit eigener Primärfunktion zählen neben Kehlkopf und Ohren auch die Eustachischen Röhren (Primärfunktion Schutz vor Keimen, Luftdruckausgleich im Ohr und Schallschutz), die Nase (Primärfunktion Belüftung, Riechorgan, Temperatur- und Feuchtigkeitsregulation der Atemluft), der weiche Gaumen (Primärfunktion Öffnung und Schließung des Überganges von Mundrachenraum zum Nasenrachenraum) und die Zunge (Primärfunktion: Durchwahrung des Nahrungsbreis, Schluckfunktion, Schmecken, Schutz des Kehlkopfes). Im Einsatz von Sprache und Gesang vereinen sich diese Funktionssysteme, lassen die Primärfunktion teilweise ruhen und ordnen sich der Stimmfunktion unter – kurzum: Es handelt sich um ein komplexes Zusammenspiel vieler multifunktionaler Systeme. M. E. liegt das Problem evolutionärer Modelle darin, dass zufällige Evolutionsfaktoren (wie Mutation und Selektion) entsprechende Anpassungen nicht geordnet konfigurieren können, da sie nur zufällig nicht *gezielt* Änderungen am Stimmbildungs- und Wahrnehmungssystem vornehmen könnten, ohne dabei Funktionen des gesamten Netzwerkes im Blick zu haben und entsprechend feinaustarierte Änderungen durchzuführen. Selbst um die Einzelsysteme bzw. -bestandteile graduell so zu verändern, dass insgesamt Selektionsvorteile für den Organismus auftreten, wären in jedem Fall wohl große Umbaumaßnahmen erforderlich. Soll eine Funktion neu entstehen oder schrittweise verbessert werden, hätte dies vielfältige Auswirkungen auf andere Subsysteme und deren Funktion. Bei jedem Einzelschritt einer Höherentwicklung im Sinne der Evolution müssten, um funktionale Verbesserungen zu erreichen, im organübergreifenden Stimmsystem

⁷ Verdichtung und Anreicherung von akustischer Energie in einem definierten Frequenzbereich. Vokalformanten liegen im Hz-Bereich tiefer als die Obertöne. Auch

sie sind definierte Teiltonverstärkungen, die unser Ohr als Vokal entschlüsselt

und/oder auch in der Sprachdecodierungsfunktion vorübergehend Nachteile in Kauf genommen werden. Schließlich könnten nicht alle Elemente am jeweiligen Organ sowie alle Zuleitungen für Blutversorgung, Nervenversorgung, Bindegewebsschichten, Steuerungskonfigurationen im Gehirn etc. in einem einzigen Schritt erfolgen. Da es sich beim Kehlkopf zudem noch um ein Organ mit überlebenswichtigen Primärfunktionen handelt, stellen Nachteile jeder Art schnell ein lebensbedrohliches Risiko dar. Das stellt eine Überforderung eines ungerichteten und zukunftsblinden Evolutionsprozesses dar, während es für einen Schöpfer, der ja nicht „am lebenden Subjekt“ experimentieren muss, unproblematisch ist, ein derartiges System – sowie seine raumzeitlich feinabgestimmte Ontogenese (!) – von vornherein mit derart komplexen Funktionskombinationen zu konzipieren. Dies verdeutlicht, dass die Vielzahl der zu ändernden Feinheiten, die den Wandel im evolutionären Prozess nach sich ziehen würden, eine Summe erreichen müssten, die eine zufällige Entstehung unwahrscheinlich macht. Die Komplexität und netzwerkartigen Beziehungen, die an der Bildung und Wahrnehmung der menschlichen Sprache beteiligt sind, kann m. E. kein konkretes evolutionäres Modell auf anatomischer, neurologischer und genetischer Ebene zufriedenstellend beschreiben. Ein solches evolutionäres Modell scheint auch nicht in Sicht zu sein, was wiederum die Frage nach der Glaubwürdigkeit des postulierten evolutionären Prozesses von schimpansenartigen Vorfahren hin zu Menschen aufwirft.

Was das komplexe Stimmssystem empfindlich stören kann

Erkenntnisse aus der Ergonomie geben auch Aufschluss darüber, dass der Mensch sich durch selbst erworbene Haltungsmuster,

Schutzmuster und ebenso durch von der Physiologie entkoppelte Stimmpraktiken zugleich der Leichtigkeit, der Effizienz und des Frequenzspektrums seiner Stimme berauben kann. Ursachen für funktionelle Beeinträchtigungen der Stimme sind, aufgrund des komplexen Systems und der weitreichenden Vernetzung im Gesamtkörpersystem, insgesamt sehr vielfältig (vgl. ROHMERT 1987, 46ff., 57ff.; SOWODNIOK 2013, 121ff.). Durchaus ist auch ohne den Obertonreichtum, der dem Stimmklang Brillanz und Tragfähigkeit schenkt, Kommunikation möglich, aber der Stimmeinsatz kostet mehr Kraft, was mitunter die Ermüdung der Stimme nach sich zieht. Die Obertöne schenken der Sprache eine bessere Verständlichkeit und bewirken, dass der Klang weiter in den Raum getragen wird, ohne dass mehr Muskeleinsatz oder Luft benötigt wird. Der Mensch ist in der Lage, in die Funktionalität des Stimmsystems über sein Bewusstsein einzugreifen – und zwar mittels umgebender Skelett-Muskelgruppen. Beispielsweise kann dies durch Zungendruck oder das bewusste Hochziehen des Kehlkopfes im Stimmeinsatz geschehen. Mit den Muskeln im Kehlkopf kann nicht auf diese Weise umgegangen werden, denn sie werden ausschließlich über den 10. Hirnnerv, den Nervus vagus, innerviert (vgl. SCHÜNKE et al. 2009, 198f.). Das setzt für eine funktionale Methodik einen anderen Umgang mit dem Stimmssystem voraus, als man es aus dem sportiven Training kennt. Verschiedene Muskelgruppen werden über verschiedene Abteilungen des Nervensystems versorgt, wobei Menschen auf die vom Hirnstamm versorgten Muskelgruppen nicht den gleichen Zugang haben, wie auf die Bewegungsmuskulatur. Es stehen den Menschen vielfältige Weisen offen, wie sie mit dem Stimmssystem umgehen möchten und damit die Grundlage für die verbal-auditive Kommunikation legen. Jeder Mensch nutzt so – unbewusst oder bewusst – die Funktionalität des

Stimmorgan voll aus, ignoriert sie oder überlagert sie durch eigene Techniken. Im physiologisch eingesetzten Stimmorgan können sich jedoch Funktionalität, Leichtigkeit und Ästhetik auf erstaunliche Weise vereinen.

Die Verschaltung mehrerer komplexer Einzelorgane zum Gesamtkonzept Stimmorgan bringt allerdings vielfältige Störfelder mit sich. Je komplexer ein System ist, desto störanfälliger ist es auch. Jedes an der Stimmgebung beteiligte Körpersystem kann Ursachen für Störungen beisteuern, die sich sodann z. B. durch muskuläre Hyper- oder Hypotonie, Dyskordinationen oder Störungen im Schwingungsablauf der Stimmlippen bemerkbar machen. Meist zeigen sich die Beeinträchtigungen darin, dass die Freiheit und Leichtigkeit im Sprechen und Singen verloren geht, die Höhe und/oder Tiefe mühsam wird oder sich einschränkt, die mittlere Tonlage brüchig und unzuverlässig wird, es Mühe kostet laut zu sprechen oder die Stimme hauchig, heißer oder schmerzhaft wird.

Diese pathologischen Beispiele zeigen übrigens, dass das bereits oben angesprochene Problem des Einwirkens von Evolutionsfaktoren auf multifunktionale Stimmbildungs- und Wahrnehmungsstrukturen mit netzwerkartigen Beziehungen an vielen Punkten Raum für negative Selektionsdrücke darbieten kann, wenn deren Entstehung evolutionär erklärt werden soll.

Betrachtet man die beteiligten Systeme: Zunge, Gaumen, Nase, Eustachische Röhren, Ohren und Kehlkopf, so wird ersichtlich, dass jedes von ihnen in seiner Primärfunktion wichtige Schutzmuster verwaltet. Im Schutzmuster schließt das Körpersystem seine „Schotten“, das hat beengende Auswirkung auf die freie Klangschwingung und auf das Prinzip der Resonanz. Der Stimmklang steht somit auch in der Abhängigkeit zum jeweiligen Schutzbedürfnis – und damit in Beziehung zu unseren Emotionen. Hinzu kommt, dass physiologisch

ungünstige Körperhaltungen und Praktiken zur Folge haben können, dass Resonanzräume verformt, der Kehlkopf eingeschnürt oder auf unnatürliche Weise nach oben gezogen wird. Schließlich können dann Prinzipien, die den Kehlkopf entlasten, wie der Bernoulli-Effekt, nicht zum Zuge kommen. In diesem Sinn hat der Mensch also ebenfalls über seine Verhaltens- und Bewegungsweise, über die Art und Weise, wie er mit sich und seinem Körper umgeht, direkten Einfluss auf seine Stimmgebung.

Der Mensch ist als einziges Lebewesen in der Lage, den Umgang mit seiner Stimme zu reflektieren und bewusste Verhaltensänderungen bewirken zu können.

Da sich physikalische Gesetze nicht ändern und die Gewebe in erstaunlichem Maß wieder regenerieren können, besteht lebenslang die Möglichkeit, den Obertonreichtum wieder zu beleben und die Stimmfunktion zurück in ihre freie Funktion zu führen. Die Grundlage dafür liegt in der Komplexität und Struktur des Stimmorgans. Der Mensch hebt sich auch darin von anderen Lebewesen ab, dass er in der Lage ist, seinen Umgang mit seiner Stimme zu reflektieren und bewusste, komplexe Verhaltensänderungen bewirken zu können. Die Kombination von Regenerationsfähigkeit der Gewebe, von Selbstwahrnehmung und Evaluation schenkt dem Menschen die Möglichkeit, sich stimmlich lebenslang zu entwickeln und zu verändern. Demgegenüber finden sich bei anderen Lebewesen stimmlich klar umrissene Muster der Verlautbarung, die sich nicht in solch einem großen Umfang verändern lassen.

5. Die Vielseitigkeit des Systems und die Anbindung an das Gehirn

Die beschriebene Vernetzung komplexer Organe legt die Grundlage für die menschliche

Stimmfunktion, die es dem Menschen ermöglicht, sich klanglich so vielfältig zu äußern. Bekommt der innewohnende Reichtum an Funktionalität die Möglichkeit, sich zu entfalten, ist die stimmliche Varietät um ein Vielfaches reicher. Auch die Verlautbarungen der Kehlkopfreflexe wie Seufzen, Jammern, Jauchzen, Jubeln, Wimmern, Lachen, Kichern, Weinen, Heulen, Schreien usw. haben einen vielseitigen klanglichen Rahmen. Sie lassen sich ebenfalls durch die Komplexität des Kehlkopfes und seiner Resonanzräume erklären.

Organisch lassen sich die intensiven Beziehungen von Stimmfunktion und Emotionen nachvollziehen.

Funktional bauen sich die reflexartigen Stimmgebungen bei Bedarf auf und lösen die oben genannten Reflexe emotionale Spannungen und mentalen Druck auf, womit sich auch organisch die tiefe Beziehung von Stimmfunktion und Emotionen nachvollziehen lässt. Für die reflexhafte Entladung eines emotionalen Drucks via Stimmorgan benötigt das System eine direkte Verbindung zwischen dem limbischen System (dem Sitz unserer Emotionen im Gehirn) und dem ausführenden Organ (dem Kehlkopf) (vgl. WASCHKE et al. 2015, 782ff.). Auch hier weist die Anbindung an das Gehirn eine weitere Komplexität und Vielschichtigkeit auf, die ebenfalls eine Rolle in der Vielseitigkeit der Stimmfunktion spielt. Diese vielschichtige Steuerung des Kehlkopfes und seine Vernetzung mit verschiedenen Hirnarealen ermöglicht den multifunktionalen Einsatz des Organs. Jede Kehlkopffunktion benötigt eine differenzierte Anbindung an eine übergeordnete Hirninstanz. Allein die Atemfunktion wird über mehrere Atemzentren in unterschiedlichen Hirnregionen organisiert (LANG & SAATWEBER 2011, 36). Eine davon liegt im Hirnstamm, um das Überleben in jeder Lebenslage zu sichern. Auch für die mit der Atmung in Verbindung stehenden Reflexe benötigt jeder Reflex eine Instanz, die ihn auslöst. Die Reflexe, mit denen

Emotionen verarbeitet werden, sind mit dem limbischen System vernetzt. Für den bewussten Stimm- und Spracheinsatz sowie für die bewusste Atemsteuerung verfügt der Kehlkopf über diverse Anbindungen an den Cortex (Großhirnrinde). Ohne diese Anbindung an das den Cortex nutzende Bewusstsein wäre kein intentionales Einsetzen, Sprechen oder Singen möglich. Die Möglichkeit, jeden geäußerten Gedanken klanglich zu modulieren, bietet eine immense Variationsvielfalt. Dennoch kann bei aller Komplexität jedes gesunde Kleinkind spielerisch sprechen und singen lernen. Die Komposition in Sprech- und Singstimme von Syntax, Rhythmik, Klang, Melodie und Emotion erfordert eine erstaunliche neuronale Aktivität im Gehirn, die das gesamte Gehirn, vom Hirnstamm bis in beide Hemisphären aktiviert und inwendig vernetzt (vgl. KÖLSCH 2019, 37–53). Die neuronalen Einzigartigkeiten beim Menschen werden diesbezüglich bislang auch nicht in Frage gestellt. (vgl. FITCH 2018). Zu den neuronalen Merkmalen reihen sich noch die Besonderheiten der FOXP2-Gene ein. Diese Gene sind für die Sprachentwicklung und das Sprachverständnis unerlässlich. Die Unterschiede sind so deutlich, dass sie sogar als Indikator-Gene zur Unterscheidung zwischen Menschen, Primaten und anderen Arten gelten (vgl. BORGER & TRUMAN 2008).

6. Laute von Affen und Menschen im Vergleich

Der beschriebene Feinbau des Kehlkopfes und sein organisches Umfeld ermöglicht die organische Grundlage zur Erzeugung einer facettenreichen Klangschwingung, die den linguistischen Anforderungen der Sprachen gerecht wird und es dem Menschen darüber hinaus ermöglicht, seine enormen kognitiven künstlerischen

schen und schöpferischen Fähigkeiten klanglich auszudrücken. Leider drehen sich die Diskussionen in der Phylogese der Stimme vornehmlich um die Erzeugung vokalhafter Laute, die den menschlichen Lauten ähneln, während das vielschichtige Frequenzspektrum der menschlichen Stimme weitgehend außer Acht gelassen wird.

Bei den eingangs erwähnten Experimenten zum Vokalumfang (vgl. FITCH 2018) sollte allerdings zur Kenntnis genommen werden, dass diese wohlgermerkt mit einem Modell eines Langschwanzmakaken-Vokalsystems durchgeführt wurden – und nie bei lebenden Langschwanzmakaken beobachtet worden sind. Das Ergebnis war eine durchaus überschaubare Anzahl von Vokalen („mindestens 5“). Außer Acht gelassen wird dabei, dass weltweit über 600 Laute die menschlichen Sprachen charakterisieren.

Menschliche Sprachfähigkeit zeichnet sich dadurch aus, dass Silben unendlich kombiniert werden können und dadurch neue Inhalte vermitteln.

Menschliche Laute können flexibel kombiniert werden und in unendlich viele Sätze geformt werden – Schimpansen hingegen beherrschen nur 12 Ruftypen, bei deren Kombination sie nach heutigem Kenntnisstand höchstens zwanzig simple Regeln befolgen können und dabei in der Regel nur sehr kurze Rufkombinationen bilden (vgl. SCHOLL 2023a; b). Der Mensch ist in der Lage, erstaunlich viele Laute zu erzeugen. Weltweit sind ca. 600 verschiedene Laute bekannt (vgl. LIEBI 2018, 53). Mit diesen Sprachbausteinen findet in ca. 7000 menschlichen Sprachen mit geschätzt 300 voneinander abgegrenzten Sprachfamilien differenzierte Kommunikation statt (vgl. SCHOLL 2023a; LIEBI 2018, 52). Es können auf dieser Grundlage unbegrenzt neue Wortkreationen geschaffen werden. Dies befähigt die mensch-

lichen Sprachen zu einem fortlaufenden Wandel und immer neuer Anpassung in neuen Lebenslagen. Dazu kommt, dass jeder Mensch zu Beginn seines Lebens in der Lage ist, jedwede Sprache von Vorbildern mit spielerischer Einfachheit zu erlernen (vgl. LIEBI 2018, 52). Allein in der standarddeutschen Sprache werden 19 Vokalphoneme unterschieden (vgl. BRANDT 2006, 245).

Unerwähnt bleiben in verschiedenen evolutionstheoretischen Modellierungen auch die vielfältigen Konsonanten der verschiedenen Sprachen – 25 Konsonantenphoneme im Standarddeutschen (vgl. BRANDT 2006, 245) – und die Tonsprachen, bei denen die Tonhöhe eine erhebliche Rolle in der Phonation spielt (vgl. LIEBI 2018, S57f). In diesen Sprachen kommt der differenzierten Tonhöhenregelung eine entscheidende Rolle im Sprechvorgang zu. Dies steht im völligen Gegensatz zur Konsonantenerzeugung bei heutigen Menschenaffen (vgl. dazu SCHOLL 2023a, 7f): Entgegen evolutionären Erwartungen werden Orang-Utans zwar als weiter entfernt verwandt mit dem Menschen eingestuft, beherrschen aber mehr Fähigkeiten zur Erzeugung von Konsonanten als Gorillas oder gar Schimpansen. Orang-Utans benutzen konsonantenähnliche Rufe in der Natur und in Gefangenschaft in verschiedenen Kontexten. Gorillas und Schimpansen tun dies hingegen eigentlich nur in menschlicher Gefangenschaft. Nur manche Gorilla-Populationen in der Natur verfügen über einen einzigen konsonantenähnlichen Ruf, bei Schimpansen beherrschen manche Populationen nur ein oder zwei konsonantenähnliche Rufe in einem einzigen sozialen Kontext (z. B. der Körperpflege). Kurzum: Die Nutzung von konsonantenähnlichen Rufen bei den vermeintlich nächsten Verwandten des Menschen – den Schimpansen und den Gorillas – weist keine substanzielle Ähnlichkeit zur Nutzung von Konsonanten durch den Menschen auf. Dies stellt eine große evolutionäre Kluft dar.

Die Nutzung von konsonantenähnlichen Rufen bei Schimpansen und Gorillas weist keine substantielle Ähnlichkeit zur Nutzung von Konsonanten bei Menschen auf.

Alle genannten Elemente in der menschlichen Sprachfunktion bauen auf die differenzierte Weitung des menschlichen Vokaltraktes und den einzigartigen Innenaufbau des Kehlkopfes und seiner Senkung auf. Die hohe Flexibilität und Komplexität des menschlichen Stimmsystems ist letztlich die Ursache dafür, dass eine immense Bandbreite an Lauten erzeugt werden kann. Tierlaute sind hingegen angeboren – und in der Regel auch nicht erlernt (vgl. SCHOLL 2023a: Ausnahmen sind z. B. singende Arten wie Wale und Singvögel – hier steht aber noch der Nachweis aus, ob diese Variabilität von Rufen und Gesang tatsächlich neue Bedeutungen vermitteln können). Tiere können die engen Grenzen ihres Lautmodell nicht verlassen. Zwar können sie darauf trainiert werden, Laute freiwillig zu erzeugen oder zu unterdrücken, doch werden sie ihr Lautrepertoire nicht in vergleichbarer Weise modulieren und verändern können, wie es bei Menschen der Fall ist. Selbst überzeugte Evolutionisten wie FITCH (2018) müssen eingestehen, dass die „[...] Fähigkeit, neue, erlernte Vokalisationen zu produzieren, die über das angeborene Rufrepertoire hinausgehen“, allein dem Menschen vorbehalten ist. Zur organischen Anlage für Stimmklangerzeugung und der geistigen Fähigkeit kommt auch noch ein hochkomplexes auditives System hinzu, das die vielfältigen Verlautbarungen aufnimmt und entschlüsselt (vgl. WASCHKE et al. 2015, 485–500).

7. Schlussfolgerungen

Die Vorstellung, die anatomischen Komponenten der Stimmfunktion seien bezüglich der Evolution des Menschen aus schimpansenartigen Vorfahren heraus nahezu irrelevant, baut

auf der falschen Annahme auf, dass man die komplexen Elemente der beteiligten Systeme ignorieren könne. Zudem wird m. E. übersehen, dass die enorme linguistische Komplexität der vielseitigen menschlichen Sprachen ein ebenso vielseitiges Ausführungsorgan benötigt und dass eben diese sprachliche Komplexität ein besonderes Merkmal menschlicher Kommunikationsfähigkeit darstellt. Für die menschliche Gabe der Sprache und des Gesangs interagieren offensichtlich drei komplexe Systeme: Gehirn, Stimmsystem und Hörsinn. Man kann in Anbetracht der vorliegenden Anatomie und Physiologie den Unterschied zur Tierwelt nicht allein auf die mentalen Fähigkeiten reduzieren. Der Mensch als ein emotionales und auf Beziehung hin orientiertes, kommunikatives Wesen verfügt über ein Stimmorgan, das es ihm ermöglicht, Gedanken, Gefühle und Informationen auf spontane, differenzierte und vielschichtige Weise mitzuteilen und auszutauschen, sie klanglich zu untermalen und dabei auch komplexe Sätze zu bilden. Die Vorstellung, dass sich die Stimmfunktion als eine kulturelle Errungenschaft durch zufällige Evolutionsprozesse in eine bestehende, schimpansenähnliche Anatomie „eingenistet“ hat, erscheint m. E. äußerst unwahrscheinlich. Zu viele anatomische Details, Vernetzungen, neurophysiologische Netzwerke und anatomische Zusammenhänge zeichnen das menschliche Stimmsystem aus, um dieses Gesamtkonzept schrittweise zustande zu bringen. Die verwirklichte Zielorientierung, die aus der genialen Gesamtkonzeption des Kehlkopfes ersichtlich wird, lässt sich wohl kaum als eine Folge zufälliger Mutationen, natürlicher Auslese oder als eine rein durch den menschlichen Willen oder durch ökologische Notwendigkeiten bewirkte Errungenschaft erklären. Die Stimmfunktion ist insgesamt organisch und neuronal zu komplex, um sie durch mentale Fähigkeiten in ein schon

bestehendes System evolutionär „einnisten“ zu können.

Die Stimmfunktion ist keine Eigenschaft, die sich allein durch mentale Errungenschaften in ein schon bestehendes System evolutionär „eingenistet“ hat.

Drei Teilbereiche in Form der erwähnten komplexen Systeme stehen für die menschliche Stimme und Sprache in wechselseitiger Abhängigkeit zueinander: 1. mentale, geistige Befähigung, um Sprache und Gesang im Denken vorzubereiten und zu orchestrieren; 2. organische Komplexität im Stimmerzeugungssystem, um die Laute zu erzeugen; sowie 3. ein ebenso komplexes auditives Wahrnehmungssystem, das die ausgesendeten Sprachcode-Schallwellen zurück in die geistige Ebene transformiert. Jeder Teilbereich bedarf des anderen, ansonsten wäre Kommunikation nicht in der gewohnten Weise möglich. Dies entspricht in gewissem Sinne dem Schöpfungsindiz der nichtreduzierbaren Komplexität.

Die Anlage des menschlichen Kehlkopfes ist offenkundig für eine vielseitige Kommunikationsfähigkeit konzipiert.

Der im Kehlkopf erzeugte Stimmklang dient dabei als Medium, das die Inhalte von Person zu Person übermittelt. Die vielen anatomischen Details, die den menschlichen Stimmklang so einzigartig und brilliant machen, sind hier nicht abschließend aufgezählt. Doch kein Detail würde allein den Zweck erfüllen, der sich in der Gesamtheit ergibt. Bei Primaten tut der gedrängte, dichte Aufbau des Kehlkopfes seinen Dienst als Teil des Atemtraktes, als Doppelventil und für die reflexhafte Bildung artspezifischer Laute. Affen verfügen zudem über artspezifische Luftsäcke, die das Kehlkopf- und Atemsystem in ihren Lebensanforderungen unterstützen. Madagaskar-Lemuren heben sich innerhalb der Primaten ab. Sie verfügen über eine zusätzliche Gewebefalte, die in der

Lauterzeugung mitschwingt. Hier sind Wissenschaftler auf filigrane Details gestoßen, die der tierischen Kommunikation innerhalb dieser Spezies dienen (vgl. NAKAMURA et al.2024). Die spezifische Architektur beim Menschen, welche z. B. Platz für die Morgagnischen Ventrikel zwischen Taschenfalten und Stimm lippen bietet, erhält einen tieferen Sinn, wenn man den Blickwinkel der Akustik und des Wechselspiels der drei erwähnten Teilbereiche der Kommunikation einnimmt. Die filigrane Mechanik auf Stimmlippenebene, die vielseitige Art, wie sich der Spalt zwischen den Stimmlippen schließen kann, wäre für die Doppelventilfunktion völlig überflüssig. Auch für eine rudimentäre Verlautbarung wären alle Abstufungen im Eindrehen der Stellknorpel nicht zwingend notwendig. Erst im Hinblick auf die vielfältige Art, wie Menschen ihre Stimme einsetzen können, wird die Genialität dieser Mechanik ersichtlich. Der maßgeschneiderte Resonanzraum, der sich durch die inwendige Auskleidung ergibt, benötigt wiederum entsprechende Stimmlippen, die einen Klang erzeugen, der zur Eigenresonanz des Raumes passt. Der Kehlkopf ist in äußerst präziser Feinabstimmung gemäß Grundprinzipien der Schwingungslehre, Akustik und Resonanz aufgebaut. Die klanglichen Funktionen kommen nur zum Zuge, wenn die Konstruktion komplett ist. Die Anlage des menschlichen Kehlkopfes ist offenkundig für eine vielseitige Kommunikationsfähigkeit konzipiert. Es ist eine erstaunliche Fähigkeit, dass der Mensch die Freiheit hat, wie genau er diese brilliant konzipierte Fähigkeit zum Erklingen bringt, ob er sich in die physiologischen Ordnungen einordnet oder ob er sie mit selbst erdachten Stimm-Techniken überlagert. Die zugrunde liegende Planung berücksichtigt die biblische Tatsache, dass der Mensch eine geschaffene Seele ist (1. Mose 2,7 Elberfelder Übersetzung) und eine Seele hat (1.Thessalonicher 5,23), die empfindet und sich differenziert mitteilen

möchte und die mit einem freien Willen ausgestattet ist. All das in einer Körperfunktion systemübergreifend zu konzipieren setzt gezielte und intelligente Planung voraus.

8. Literatur

- BAUER K (2024) Ist der menschliche Rachen eine Fehlkonstruktion? *Stud. Integr. J.* 31, 112–115.
- BORGER P & TRUMAN R (2008) The FOXP2 gene supports Neandertals being fully human. *J. Creat.* 22, 13–14, www.researchgate.net/publication/237419945.
- BRANDT M (2000) Gehirn, Sprache, Artefakte. Fossile und archäologische Zeugnisse zum Ursprung des Menschen. *Studium Integrale*. Hänssler Verlag, S. 70f, Abb. II,2.
- BRANT P (2006) Sprachwissenschaft: Ein roter Faden für das Studium der deutschen Sprache. 2. Aufl. Böhlau Verlag UTB, S. 245.
- CAMPELL NA, REECE JB & MARKL J (2006) *Biologie*. 6. Auflage. Pearson Education, S. 1063–1076.
- DUNKER HR (2000) Der Atemapparat der Vögel und ihre lokomotorische und metabolische Leistungsfähigkeit. *J. Ornithol.* 141, 1–67, <https://doi.org/10.1007/BF01651772>.
- FITCH WT (2018) The Biology and Evolution of Speech: A Comparative Analysis. *Annual Reviews* 4, 255–279, <https://doi.org/10.1146/annurev-linguistics-011817-045748>.
- FÖCKING W & PARRINO M (2015) *Praxis der funktionalen Stimmtherapie*; Springer-Verlag, S. 34f, 41, 45–52.
- GRUNWALD M (2017) Homo Hapticus – Warum wir ohne Tastsinn nicht leben können; Droemer Verlag, S. 88–92.
- GUGATSCHKA M, GROSSMANN T & HORTOBAGYI D (2021) Molekulare Laryngologie. *HNO* 69, 695–704, <https://doi.org/10.1007/s00106-021-01016-1>.
- KÖLSCH S (2019) *Good Vibrations – Die heilende Kraft der Musik*. Berlin: Ullstein, S. 37–53.
- LANDZETTEL M & ROHMERT G (2015) *Lichtenberger Dokumentationen: Erkenntnisse aus Theorie und Praxis der Physiologie des Singens, Sprechens und Instrumentalspiels*. Bd. 1. Lichtenberger Institut für angewandte Stimmphysiologie, <https://www.lichtenberger-institut.de/das-institut/lichtenberger-dokumentationen/>, S. 16, 21–31, 43ff., 57–69.
- LANG A & SAATWEBER M (2011) *Stimme und Atmung – Kernbegriffe und Methoden des Konzeptes Schlawffhorst-Andersen und ihre anatomisch-physiologische Erklärung*, 2. Auflage Schulz-Kirchner Verlag, S. 36.
- LIEBI R (2018) *Herkunft und Entwicklung der Sprachen*. Linguistik kontra Evolution. 4. Aufl. Bielefeld: CLV, S. 40–54.
- MAIBAUER J et al. (2015) *Einführung in die germanistische Linguistik*. 3. Auflage Verlag J. B. Metzler, S. 74ff.
- NAKAMURA K et al. (2024) Twin vocal folds as a novel evolutionary adaptation for vocal communications in lemurs. *Sci. Rep.* 14, 3631, <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54172-z>.
- NEGUS VE & KEITH A (1962/©1949) *The comparative anatomy and physiology of the Larynx*. New York: Hafner Pub. Co.
- NISHIMURA T & MIKAMI A & SUZUKI J & MATSUZAWA T (2005) Received Development of the Laryngeal Air Sac in Chimpanzees. *Int. J. Primatol.* 28, 483–492, <https://doi.org/10.1007/s10764-007-9127-7>.
- NISHIMURA T (2017) The descended larynx and the descending larynx. *Anthropological Science* 126, 3–8, www.jstage.jst.go.jp/article/ase/126/1/126_180301/_pdf.
- NISHIMURA T et al. (2008) Development of the supralaryngeal vocal tract in Japanese macaques: implications for the evolution of the descent of the larynx. *Am. J. Phys. Anthropol.* 135, 182–194, doi: 10.1002/ajpa.20719.
- PAULSEN F & TILLMANN B (1996/online 2008) *Struktur und Funktion des ventralen Stimmbandsatzes*, www.thieme-connect.de/products/ejournals/abstract/10.1055/s-2007-997640.
- PAULSEN K (1967) Zur Phylogenetischen Entwicklung des Kehlkopfskelettes von den Amphibien bis zum Menschen. In: *ICPhS Proceedings Prague 1967. 6th International Congress of Phonetic Sciences*, www.coli.uni-saarland.de/groups/BM/phonetics/icphs/ICPhS1967/p6_723.pdf.
- PAULSEN F & WASCHKE J (2010) *Sobotta – Atlas und Anatomie des Menschen, Tabellen zu Muskeln*,

- Gelenken und Nerven; 2. Auflage; Elsevier, Urban und Fischer, S. 12f.
- PRESCHER A (2010) Funktionelle Anatomie des Larynx. 27. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie e. V. Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie e. V. 17.09.–19.09.2010, Aachen, doi: 10.3205/10dgpp81.
- LEONHARD H (Hrsg.) (1987) Rauber/Kopsch. Anatomie des Menschen. Bd. II Innere Organe.; Thieme Verlag, S. 152, 159.
- ROHMERT G (1992) Der Sänger auf dem Weg zum Klang. Lichtenberger Musikpädagogische Vorlesungen (Dokumentation Arbeitswissenschaft). 2. Auflage. Hrsg.: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
- ROHMERT W (1987) Grundzüge des funktionalen Stimmtrainings. Dokumentation Arbeitswissenschaft. 4. Aufl., ISBN 3-504-65619-0, S. 17–57, 185f.
- SAIGUSA H (2011) Comparative Anatomy of the Larynx and Related Structures. *JMAJ* 54, 241–247, <https://www.researchgate.net/publication/286554617>.
- SATO K et al. (2023) Comparative Histoanatomy of the Epiglottis and Pre-epiglottic Space of the Chimpanzee Larynx. *Journal of Voice*. In Press, Corrected Proof, <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2023.07.027>.
- SCHMIDT-NIELSEN K (1971) How birds breathe. *Sci. Am.* 225, 72–79.
- SCHOLL B (2018) Affe = Mensch? Ein Überblick über verhaltensbiologische Unterschiede zwischen Affen und Menschen. W+W Special Paper B-18-1, <https://www.wort-und-wissen.org/artikel/verhalten-affe-mensch/>.
- SCHOLL B (2023a) „Syntaxähnliche“ Struktur bei Schimpansen nachgewiesen. Genesisnet-News vom 15.06.23, http://www.genesisnet.info/schoepfung_evolution/n316.php.
- SCHOLL B (2023a) Beherrschen Schimpansen etwa doch Grammatik? W+W-Onlineartikel vom 23.02.2023, <https://www.wort-und-wissen.org/artikel/schimpansengrammatik/>.
- SCHÜNKE M, ET AL. (2009) Prometheus Lernetlas der Anatomie, 2. überarb. & erw. Aufl., Georg Thieme Verlag, S. 74,174, 17–181, 198f, 208.
- SOWODNIOK U (2013) Stimmklang und Freiheit: Zur auditiven Wissenschaft des Körpers. Transcript Verlag Bielefeld, S. 121ff.
- SPIECKER-HENKE M (2014) Leitlinien der Stimmtherapie. 2. Aufl. Thieme Verlag; S. 21, 244, 256ff., 260f., 274, 286ff.
- STEMME G & V. EICKSTEDT D (1998) Die frühkindliche Bewegungsentwicklung, Vielfalt und Besonderheiten. Verlag selbstbestimmt leben. Eigenverlag des Bundesverbandes für Körper- und Mehrfachbehinderte, S. 51–56, 110–120.
- SPITZER M (2004) Musik im Kopf - Hören, Musizieren, Verstehen und Erleben im neuronalen Netzwerk. Verlag Schattauer, 1. Aufl., S. 50–80.
- TOMATIS AA (1990) Der Klang des Lebens. Vorgeburtliche Kommunikation: die Anfänge der seelischen Entwicklung. 13. Edition. Rowohlt Verlag; Original: „La Nuit utérine (1981).
- WASCHKE J & BÖCKERS TM & PAULSEN F (Hrsg.) (2015) Sobotta Anatomie: Das Lehrbuch. 1. Aufl. Elsevier, S. 68, 280, 485–500, 573–586, 782ff.

Danksagung

Einen herzlichen Dank möchte ich an die Studiengemeinschaft Wort und Wissen aussprechen für die wissenschaftliche Begleitung. Besonderer Dank gilt Benjamin Scholl, Dr. Reinhard Junker und Heike Damian sowie anderen lieben Fachkollegen für die wertvollen Rückmeldungen, Anregungen und Korrekturen.

Danken möchte ich meinem Ehemann Georg, der mich in meiner Arbeit schon so lange treu unterstützt und sie aktiv begleitet. Danken möchte ich ihm und meinen wunderbaren Kindern für das fachübergreifende Diskutieren am Küchentisch. Viele gute Fragestellungen und Gedanken entstanden durch das gemeinsame Austauschen, wenn die Sachverhalte aus den

verschiedenen Fachrichtungen ihrer Studiengänge, Linguistik, Kommunikations-Design, Biologie und Pädagogik beleuchtet wurden.

Karin Bauer arbeitet freiberuflich als Stimmbildnerin, unterrichtet Gesang und Sprache und hält Seminare und Workshops zum Thema Stimme.