

7 Physiologische Grundlagen

H.K. Schutte, W. Seidner

7.1 Funktion der Atmung

- Atemtypen
- Lungenvolumina und -kapazitäten
- Ruhe- und Stimmatmung

7.2 Funktion des Kehlkopfs

- Primär- und Sekundärfunktion
- Aufbau des Kehlkopfs
- Glottisfunktion

7.3 Funktion der Ansatzräume

- Aufbau und Funktion
- Akustische Wirkung der Ansatzräume

7.4 Stimmfunktionen

- Tonhöhe
- Lautstärke
- Phonationsdauer
- Phonationskennwerte
- Nichtlineare Dynamik der Stimm lippen-schwingungen

7.5 Stimmerzeugungstheorien

- Historische Grundlagen
- Myoelastisch-aerodynamische Theorie

7.6 Zentrale Steuerung

Literatur

Im Zusammenhang mit der Bildung von Stimme und Sprache versteht man unter „Atmung“ die Atemmechanik und ihre zentralnervöse Steuerung. Die folgende zusammenfassende Darstellung befasst sich mit den einzelnen Funktionsbereichen Atmung, Glottis, Ansatzräume und Zentralnervensystem. Die anatomische Nachbarschaft und die funktionelle Verflechtung zwischen diesen Bereichen sind so eng, dass nur eine ganzheitliche Betrachtung den Verhältnissen gerecht wird. Durch eine Erörterung verschiedener Stimmfunktionen soll das Zusammenwirken dieser Bereiche verdeutlicht werden.

7.1 Funktion der Atmung

Aus stimmphysiologischer Sicht interessiert v.a. die Luftbewegung zwischen dem Lungeninneren in die Umgebung und umgekehrt (äußere Atmung). Die Atembewegungen können sich dabei, extrem gesehen, in zwei Varianten vollziehen, überwiegend abdominal oder überwiegend thorakal.

Atemtypen

Abdominalatmung. Während der Einatmung vergrößert sich der Thoraxraum überwiegend durch Zwerchfellaktivität. Die Kontraktion der Muskelfasern bewirkt ein Abflachen des kuppelartig nach oben gewölbten Zwerchfells, und die Lungen erweitern sich v. a. im unteren Anteil. Die Baueingeweide weichen zwangsläufig aus und wölben die Bauchwand vor. Die Ausatmung beginnt mit Beendigung der Zwerchfellkontraktion. In Ruhe bewirken die bei der Einatmung gespeicherten elastischen Kräfte (gedehnte Lunge, kom-

primierte lufthaltige Baueingeweide, ausgedehnte Bauchwand) die Rückverlagerung des erschlafften Zwerchfells in die Inspirationsstellung. Dieser passive Vorgang wird bei verstärkter Ausatmung und auch bei einem erhöhten Ausgangswiderstand während des Phonierens durch Aktivität der Bauchwandmuskulatur wesentlich unterstützt. Die Zwerchfellbewegungen dominieren beim Gasaustausch, sie fördern in Ruhe etwa zwei Drittel des Atemvolumens.

Thorakalatmung. Der Thoraxraum vergrößert sich während der Einatmung v.a. durch Veränderung der Rippenstellung, weshalb synonym auch von Kostalatmung gesprochen wird. Die Rippen werden entgegen dem elastischen Lungenzug und gegen die Schwerkraft durch Kontraktion der äußeren Zwischenrippenmuskeln gehoben und erweitern den Brustraum lateral (kaudal) und sagittal (kranial). Wenn die äußeren Interkostalmuskeln erschlaffen, folgt die Ausatmung. Die elastischen Rückstellkräfte der Lunge und die Schwerkraft bringen den Thorax in die Ausgangsstellung, der Thoraxraum verkleinert sich. Nur bei forciertem Atmen oder bei Bewegungseinschränkung der Rippen im Alter können Hilfsatemmuskeln diesen Ausatmungsvorgang aktiv unterstützen. Die Einatmung wird durch die Muskeln des Schultergürtels gefördert, die Ausatmung durch die inneren Zwischenrippenmuskeln. Mittels thorakaler Atmung kann in Ruhe etwa ein Drittel des Atemvolumens bewegt werden. Die geschilderten abdominalen und thorakalen Atembewegungen sind selten isoliert, sondern meist kombiniert zu beobachten. Je nach Belastung tritt, reflektorisch gesteuert, die eine oder andere Atembewegung stärker hervor.

Lungenvolumina und -kapazitäten

Durch die Flüssigkeitskoppelung der Pleurablätter folgen die Lungen den Thoraxbewegungen und transportieren je nach Größe der Auslenkungen verschiedene Luftvolumina (Abb. 7.1). In Ruhe atmet ein Erwachsener etwa 500 ml Luft ein oder aus (Atemruhevolumen). Zusätzlich kann er durch vertiefte Inspiration etwa 2500 ml aufnehmen (inspiratorisches Reservevolumen). Nach Ausatmung des Ruhevolumens lassen sich durch verstärkte Expiration zusätzlich etwa 1500 ml herausstreifen (expiratorisches Reservevolumen), danach verbleiben noch immer etwa 1200 ml in der Lunge (Residualvolumen). Im klinischen Gebrauch fasst man verschiedene Volumina als Lungenkapazitäten zusammen. Die Totalkapazität umfasst die Summe aller Volumina. Die Vitalkapazität (3500–5000 ml) besteht aus derjenigen Luftmenge, die nach maximaler Einatmung durch stärkste Ausatmung aus der Lunge herauszubringen ist. Beeinflusst wird die Vitalkapazität v. a. durch Geschlecht, Körpergröße und -masse, Alter, Trainingszustand etc. Für die Phoniatrie ist die Größe der Lungenvolumina und -kapazitäten von untergeordneter Bedeutung, da keine direkten Beziehungen zu Qualität und Quantität stimmlicher Leistungen bestehen.

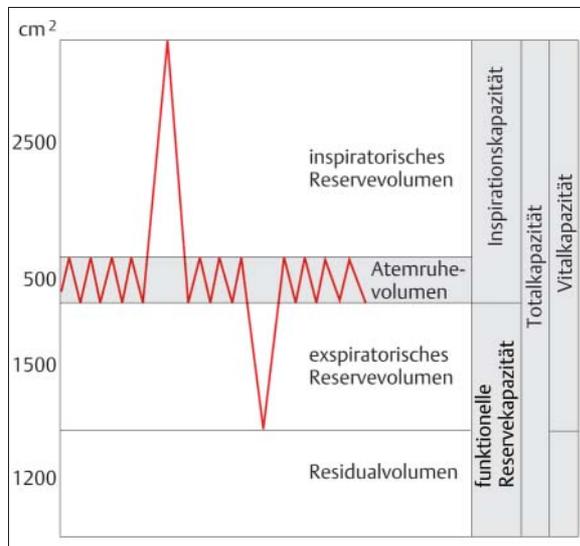


Abb. 7.1 Lungenvolumina und Lungenkapazitäten.

Ruhe- und Stimmatmung

Die Atmung erfüllt primär die für den Stoffwechsel nötige Gastransportfunktion und reguliert die Atembewegungen unter Steuerung des Zentralnervensystems automatisch, sodass der Körper möglichst wenig Energie für den Gasaustausch aufwenden muss (ökonomische Atemregulation). Das gilt v. a. für die Atmung ohne Stimmgebung („respiratio muta“). Die Stimmatmung („respiratio phonatoria“) ordnet sich der reflek-

torisch gesteuerten Grundfunktion der Atmung unter, indem sie die Expirationsphase zur Stimmgebung ausnutzt.

In Grenzen sind Ein- und Ausatmung (Atemfrequenz, Atemvolumen, Atemtyp) durch kortikale Impulse für die Phonation beeinflussbar. Das zeitliche Verhältnis entgegengesetzter Atemphasen variiert in Abhängigkeit von stimmlichen Anforderungen. Während sich in Ruhe Ein- und Ausatmung wie 1:1,2 (1:1,1–1,9) verhalten, gilt für die Stimmgebung etwa 1:8. Das Verhältnis ändert sich besonders beim Singen sehr stark und kann noch größere Unterschiede zwischen Ein- und Ausatemungsphase aufweisen.



Für das professionelle Sprechen und Singen gilt die kombinierte Atmung (Kosto-Abdominal-Atmung) als funktionell richtig und erstrebenswert, weil sie in ökonomischer Weise die notwendigen Atemvolumina bereitstellt und den Atemdruck an die Kehlkopfspannung differenziert anpassen kann. Diese Anpassung hängt von der zu erbringenden phonischen Leistung ab und ermöglicht ein fein abgestuftes Wechselspiel zwischen Zwerchfell- und Bauchdeckenspannung. Die Hochatmung (Brust- und Schulteratmung) wird, besonders bei gleichzeitiger Kontraktion der Bauchdeckenmuskulatur während der Inspiration, als ineffektiv abgelehnt.

Eine effektive Atemfunktion während der Stimmgebung setzt eine normale Haltung voraus. Dabei sind neben dem Thorax nicht nur die Wirbelsäule und der Schultergürtel beteiligt, sondern auch das Becken und die Extremitäten. Vor allem die Haltung der Wirbelsäule wirkt sich auf die Atemfunktion aus, indem sowohl die Atemvolumina als auch die feinen Einstellbewegungen der Atemmuskulatur beeinflusst werden können. Die für die normale Atem- und Stimmfunktion günstige Haltung zeigt eine Tendenz zur Wirbelsäulenstreckung bei gleichzeitiger Horizontalstellung des Beckengürtels.

7.2 Funktion des Kehlkopfs

Primär- und Sekundärfunktion

Primär übt die Glottis reflektorisch eine Sphinkterfunktion aus, zum Schutz der Luftwege vor eindringenden Fremdkörpern, Sekreten oder fehlgeschluckten Nahrungsbestandteilen. Auf die Stimmlippen gelangte Partikel werden nach Pressverschluss der Glottis und Sprengung dieses Verschlusses während der Ausatmung herausgeschleudert (Hustenstoß).

Sekundär dient die Glottis der Stimmerzeugung. Der Atemapparat ist die Kraftquelle für den Glottisgenerator, die treibende Kraft, auf die sich die Stimmlippen-schwingungen einstellen. Die Vibrationsmuster werden

also von der jeweiligen muskulären Einstellung im Kehlkopf und aerodynamischen Parametern (subglot-taler Druck, Luftströmung) bestimmt. Mit „respiratorischer Beweglichkeit“ der Stimmlippen sind Abduktion und Adduktion gemeint, also die Einstellbewegungen für Atmung oder Stimmgebung bzw. Husten durch muskuläre Aktivitäten der Öffner und Schließer. Die „phonatorische Beweglichkeit“ bezieht sich auf die mit bloßem Auge nicht wahrnehmbaren Schwingungen der Stimmlippen während der Phonation.



Eine respiratorisch stillstehende Stimmlippe kann phonatorisch voll beweglich sein (z. B. bei Stimmlippenlähmung), und bei einer respiratorisch frei beweglichen Stimmlippe kann die phonatorische Beweglichkeit aufgehoben sein (phonatorischer Stillstand, z. B. bei Stimmlippenkarzinom).

Aufbau des Kehlkopfs

■ Stützgerüst

Das Stützgerüst des Kehlkopfs besteht aus Schildknorpel (Cartilago thyroidea), Ringknorpel (Cartilago cricoidea), zwei Aryknorpeln (Stellknorpeln, Cartilagine arytaenoideae), je zwei Nebenknochen (Cartilagine corniculatae, Santorini; Cartilagine cuneiformes, Wrisbergi) und dem Kehldeckel (Cartilago epiglottica). Die Schildknorpelplatten sind ventral in einem unterschiedlich großen Winkel vereinigt (bei Männern etwa 90°, bei Knaben vor der Pubertät und bei Frauen 120°). Der vordere obere Anteil der Schildknorpelplatten bildet die Prominentia laryngea (Adamsapfel des Mannes) (Abb. 7.2–7.4).

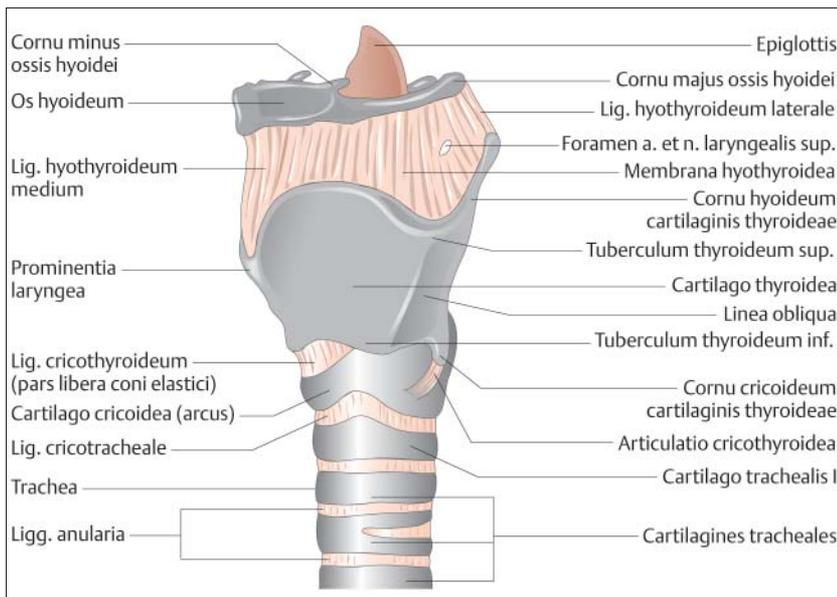


Abb. 7.2 Stützgerüst und Bänder des Kehlkopfs (Ansicht von lateral).

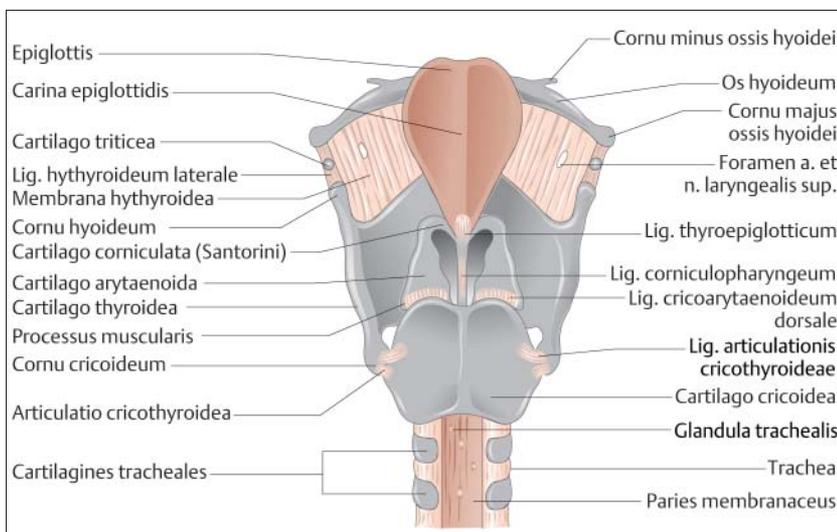


Abb. 7.3 Stützgerüst und Bänder des Kehlkopfs (Ansicht von dorsal).

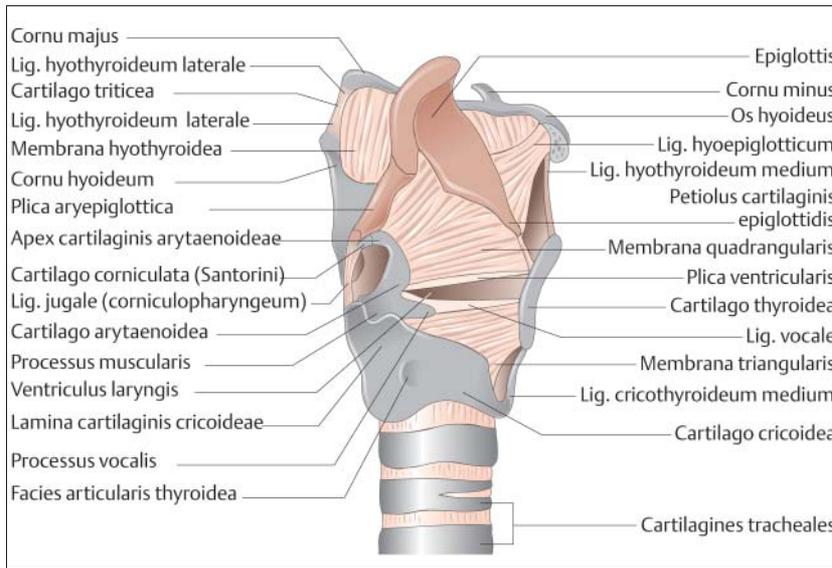


Abb. 7.4 Membranen, Falten und Bänder des Kehlkopfs.

Gelenke

Krikothyroidgelenke. Die seitlichen Gelenkflächen des Ringknorpels bilden mit den unteren Hörnern des Schildknorpels Gelenke, die v.a. eine drehende Scharnierbewegung um eine frontale Achse ermöglichen. Aufgrund dieser Bauweise kann bei Kontraktion der Mm. cricothyroidei (s.u.) der Ringknorpelbogen gegen den Schildknorpel bewegt werden. Durch die zwangsläufig folgende Rückverlagerung der Aryknorpel spannen sich die Stimmlippen.

Krikoarytaenoidgelenke. Die Gelenke zwischen Aryknorpeln und Ringknorpelplatte sind so gestaltet, dass sie bei der Phonation eine Kipp-Gleit-Bewegung gegeneinander ermöglichen (Abb.7.5). Die Bewegung während der Phonation ist nicht, wie oft angenommen wird, allein eine Drehung mit Schwenkung der Processus vocales in einer horizontalen Ebene zur Mitte bzw. während der Respiration wieder zur Seite. Zur Phonationsstellung bewegen sich die Aryknorpel nach vorn unten und zur Mitte, zur Respiration erfolgt die rückläufige Bewegung.

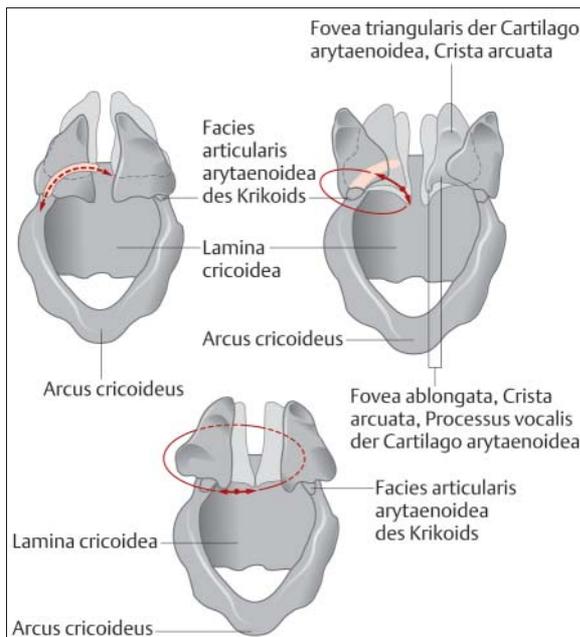


Abb. 7.5 Bewegungsmöglichkeiten der Aryknorpel (nach Pernkopf).

Die beiden Gelenke, die sich vor der höchsten Erhebung der Ringknorpelplatte befinden, sind wie Zylindergelenke aufgebaut. Den konvexen Gelenkkörper bildet die Facies articularis des oberen, etwas gekrümmten Ringknorpelrandes, den konkaven die Basis des Aryknorpels, wobei die Gelenkachsen von medial-kranial-dorsal nach lateral-kaudal-ventral verlaufen. Die Gelenkkapsel ist nachgiebig und gestattet eine geringe Translation in Richtung der Achse. Das Lig. cricoarytaenoideum dorsale verstärkt die Kapsel und übt eine Halte- und Bremsfunktion aus.

Verknöcherung

Die physiologische Verknöcherung des Kehlkopfs beginnt beim weiblichen Geschlecht um das 50. Lebensjahr, beim männlichen Geschlecht überwiegend zwischen dem 18. und 20. Lebensjahr und weist starke individuelle Schwankungen auf. Der Schildknorpel verknöchert beim Mann stärker als bei der Frau. Beim Mann ist eine fast vollständige Ossifikation frühestens im 50. Lebensjahr nachweisbar, bei der Frau erst im 77. Jahr, allerdings findet sich kein fester Zusammen-

hang zwischen Alter und Verknöcherungsgrad. Die Verknöcherung des Ringknorpels beginnt gleichzeitig mit den Schildknorpelveränderungen, prägt sich aber nur selten vollständig aus. Die Aryknorpel verknöchern einige Jahre später, komplett erst im Greisenalter. Die Processus vocales bleiben zeitlebens knorpelig erhalten.

Muskulatur

Die Muskeln des Kehlkopfs verengen oder erweitern den Raum zwischen den Stimmlippen, spannen oder entspannen die Stimmlippen und verändern ihre Form. Dadurch wird über die Verschlussfunktion zum Schutz der Luftwege hinaus eine modulationsfähige Stimmgebung ermöglicht. Nach ihrer Funktion lassen sich 3 Muskelgruppen einteilen: Abduktoren, Adduktoren und Tensoren (Tab. 7.1, Abb. 7.6).

Während der Phonation laufen die Muskelaktionen komplex ab und lassen – zumindest bei der Laryngoskopie – Einzelaktivitäten kaum erkennen. Deshalb ist es nicht gerechtfertigt, für pathologische Glottisbilder bestimmte Muskeln festzulegen und z. B. von einer Transversus-, Internus- oder Postikusparese zu sprechen. Neben den aufgeführten Kehlkopfmuskeln wirken Hilfsmuskeln, die am Zungenbein oder am Schildknorpel ansetzen und die Kehlkopffunktion beeinflussen. Sie heben und senken den Kehlkopf oder fixieren ihn (Abb. 7.7).

Innervation

Die Nervenversorgung des Kehlkopfs entstammt dem N. vagus. Der N. laryngeus superior zweigt sich beiderseits auf und bildet einen R. externus (motorisch), der den M. cricothyroideus innerviert, und einen R. internus (sensibel), der durch die Membrana hyothyroidea zur Schleimhaut des Kehlkopfs zieht, die er bis zur Glottisebene versorgt. Alle inneren Kehlkopfmuskeln werden vom N. laryngeus inferior (N. recurrens) innerviert, der links die Aorta und rechts die A. subclavia unterläuft und, zufällig verteilt, Fasern sowohl für die Schließer als auch für den Öffner führt. Sensible Fasern erreichen die subglottische Schleimhaut.

Schleimhaut

Die Räume des Kehlkopfs werden vom mehrzeiligen Flimmerepithel der Luftwege ausgekleidet, das auch Becherzellen enthält. Vor allem die mukoserösen Drüsen der Epiglottis und der Taschenfalten halten die Schleimhaut feucht, denn das mehrschichtige, unverhornte Plattenepithel der Stimmlippen trägt nur wenige Drüsen. Gegenüber dem Muskelkörper und dem Ligament ist die Schleimhaut über lockeres Bindegewebe, den Reinke-Raum, verschieblich, v. a. im Bereich der Randkante.

Tabelle 7.1 Muskeln des Kehlkopfs (nach Alverdes).

Muskel	Ursprung	Ansatz	Funktion
<i>Öffner</i> M. cricoarytaenoideus dorsalis	Hinterfläche der Ringknorpelplatte	Processus muscularis des Aryknorpels	zieht den Processus muscularis nach hinten und unten, wodurch sich die Stimmritze öffnet; alleiniger Öffner der Stimmritze!
<i>Schließer</i> M. cricoarytaenoideus lateralis	Ringknorpelbogen oberer Rand der Außenfläche	Processus muscularis des Aryknorpels	zieht den Processus muscularis nach vorn und unten, wodurch sich die Stimmritze schließt; Gegenspieler des M. cricoarytaenoideus dorsalis
M. arytaenoideus (Pars transversa, Pars obliqua)	in queren und schrägem Verlauf zwischen den Aryknorpeln		nähert die Aryknorpel und schließt die Stimmritze
M. thyroarytaenoideus syn. M. vocalis	Innenfläche des Schildknorpels	Processus vocalis und laterale Fläche des Aryknorpels	nähert die Aryknorpel und schließt die Stimmritze
<i>Spanner</i> M. thyroarytaenoideus syn. M. vocalis	s. o.	s. o.	spannt die Stimmlippen (Feinspannung)
M. cricothyroideus (Pars recta, Pars obliqua)	Unterrand und Cornu cricoideum des Schildknorpels	vorderer Teil des Ringknorpelbogens	hebt den Ringknorpelbogen, kippt die Ringknorpelplatte mit den Aryknorpeln nach hinten und spannt die Stimmlippen – Grobspannung, Rahmeneinstellung
M. cricopharyngeus	Seitenfläche des Ringknorpels	Mitte der Pharynxhinterwand	senkt den Ringknorpelbogen, kippt die Ringknorpelplatte mit den Aryknorpeln nach vorn und entspannt die Stimmlippen; Gegenspieler des M. cricothyroideus

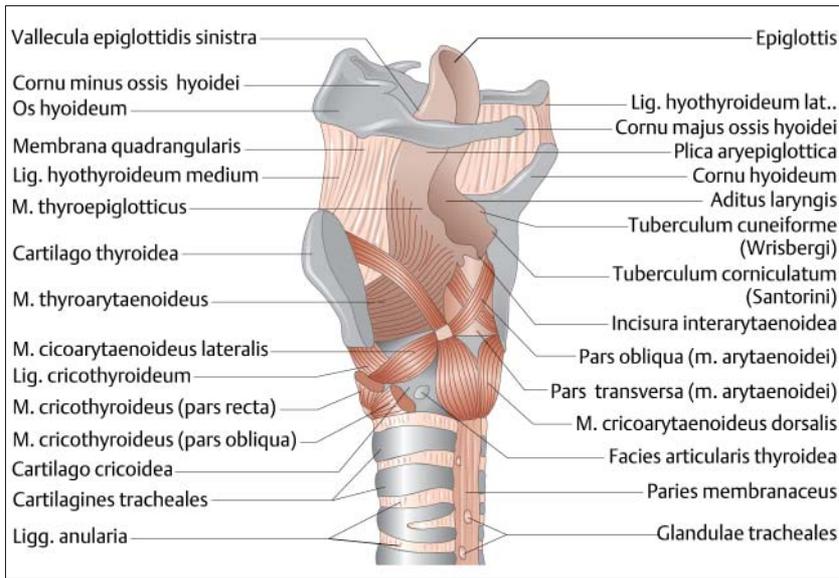


Abb. 7.6 Kehlkopfmuskeln.

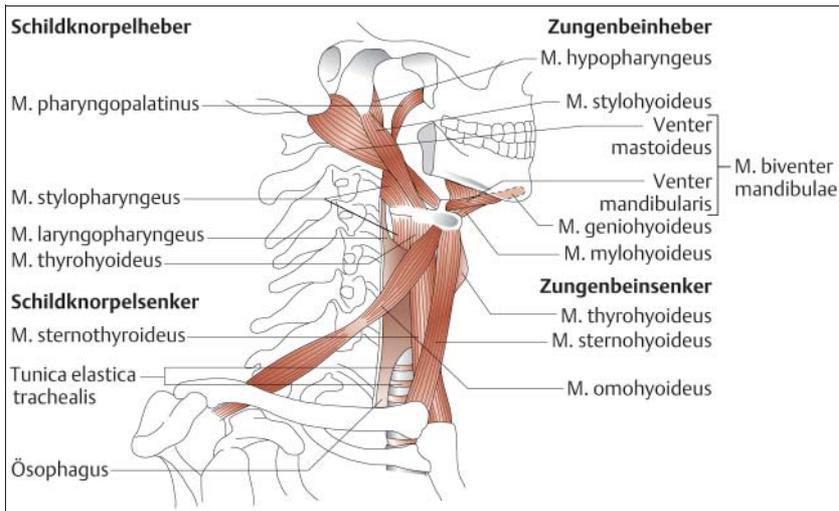


Abb. 7.7 Muskelgurtung des Kehlkopfs und des Zungenbeins (nach Lanz u. Wachsmuth).

■ Aufbau der Stimmlippen

Die Stimmlippen bestehen aus Stimmband (Lig. vocale, oberer freier Rand des Conus elasticus), Vokalismuskel, Bindegewebe, Nerven, Gefäßen und verschieblicher umhüllender Schleimhaut (Abb. 7.8).

Der Begriff „Stimmband“ ist inkorrekt, wenn die gesamte Stimmlippe oder Schleimhautanteile gemeint sind. Hirano hat darauf hingewiesen, dass der typische Schichtaufbau der menschlichen Stimmlippe von großer funktioneller Bedeutung ist, wie es in der „Body-cover-Theorie“ der Stimmerzeugung zum Ausdruck kommt (16).

Die abweichenden Darstellungen über den Bau des M. vocalis sind wahrscheinlich auf verschiedene Untersuchungsmethoden zurückzuführen. Es gilt heute als gesichert, dass die Muskelfasern vom medialen Teil der Schildknorpelplatten zu den Aryknorpeln verlaufen und nicht überwiegend in die Stimmbänder einstrahlen. Übereinstimmung besteht darin, dass sich der M. vocalis

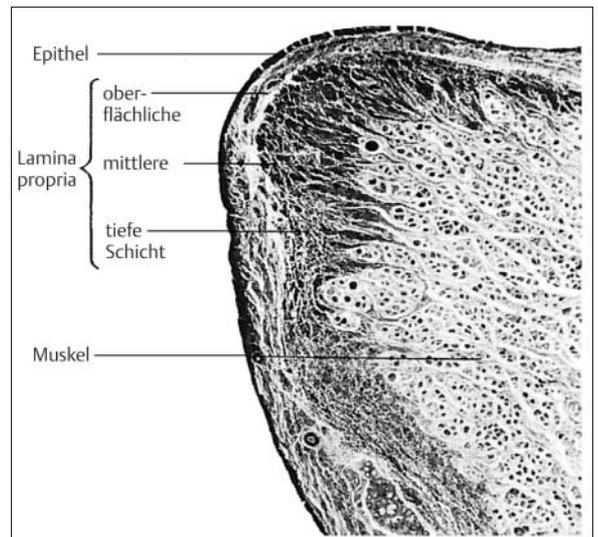


Abb. 7.8 Frontalschnitt durch die menschliche Stimmlippe in der Mitte des membranösen Teils (nach Hirano).

aus 2 Teilen zusammensetzt: Portio thyrovocalis mit Ansatz am Processus vocalis, Portio thyromuscularis mit Ansatz am Processus muscularis. Die Faserbündel verlaufen meist in langgestreckten Spiraltouren mit zopfartiger Verflechtung. Diese zopfartig angeordneten Muskelbündel sind in ihrer Ausprägung etwas für den Menschen Spezifisches und ermöglichen sehr feine Abstufungen des Spannungszustands.

Spannapparat

Den Tonhöhenvariationen der menschlichen Stimme liegen überwiegend Änderungen der Stimmlippenspannung zugrunde. Der Spannapparat des Kehlkopfs wirkt durch den knorpeligen Rahmen (Schild- und Ringknorpel) und das Zusammenspiel zweier Muskelpaare: Mm. cricothyroidei und Mm. vocales. Die Spannungserhöhung ist zunächst durch eine veränderte „Rahmeneinstellung“ möglich, die die Mm. cricothyroidei herbeiführen. Bei Kontraktion dieser Muskeln wird der Ringknorpelbogen an den Schildknorpel gekippt, wodurch sich die Ringknorpelplatte nach dorsal und kaudal verlagert. Die aufsitzenden Aryknorpel werden mitgeführt und es kommt zur Verlängerung und Anspannung der Stimmlippen (Abb. 7.9, „Kippmechanismus“) und damit zu einer Steigerung der Tonhöhe.

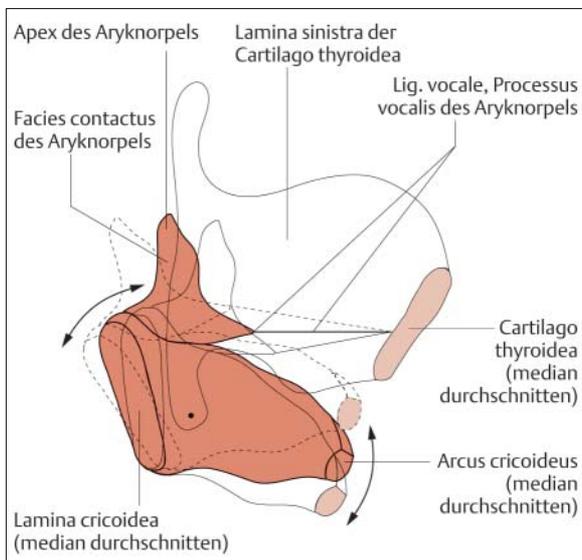


Abb. 7.9 „Kippmechanismus“ (nach Pernkopf).

Die Feineinstellung erfolgt durch die Vokalismuskeln im Zusammenwirken mit der gesamten inneren Larynxmuskulatur. Ist der Kippmechanismus erschöpft, verlängern sich die Stimmlippen nur noch unbedeutend. Ein weiteres Anheben der Tonhöhe macht dann eine verstärkte Aktivität der Mm. cricothyroidei bei weitgehender Entspannung der Mm. vocales notwendig. An der unteren Grenze des Tonhöhenumfangs erfolgt die Entspannung und Verkürzung der Stimmlippen nicht primär durch den M. vocalis, weil eine aktive Verkürzung nicht gleichzeitig die nötige Entspannung gewährleisten kann, sondern durch Aktivität der Mm. cricopharyngei. Diese entspringen hinter den Artt. cricothyroidei, können in diesem Bereich den Ringknorpel nach oben ziehen und damit den Ringknorpelbogen abwärts kippen (39). Die Muskeln wirken so als Antagonisten der Mm. cricothyroidei (Abb. 7.10).

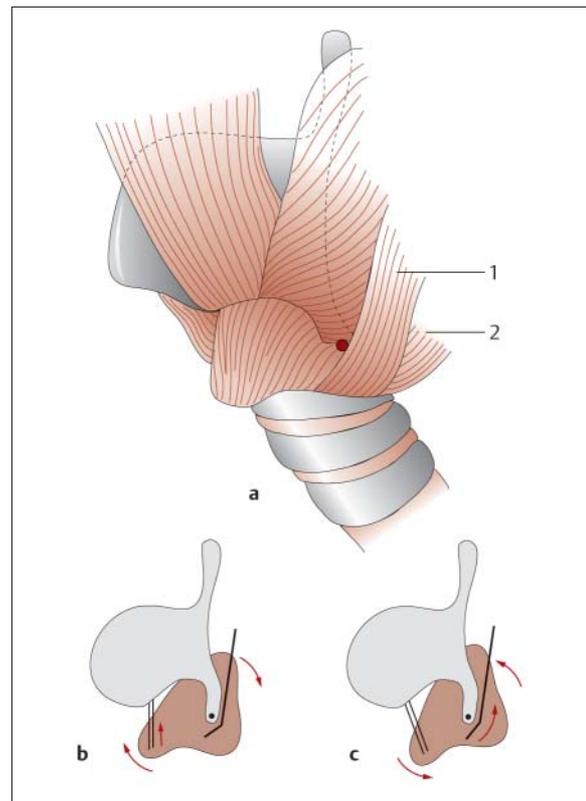


Abb. 7.10 a–c M. cricopharyngeus (nach W. u. A. Zenker). a Lage des Muskels (1 aufsteigende Fasern, 2 Pars fundiformis), b und c Antagonismus M. cricothyroideus/M. cricopharyngeus.



Weitere am Kehlkopf angreifende Kräfte können eine Stimmlippenverkürzung unterstützen (Abb. 7.11), der M. aryepiglotticus in Kopplung an Epiglottis, Membrana hyoepiglottica, Zungenbein und Unterkiefer einerseits und Epiglottis, M. genioglossus und Zunge andererseits. Schließlich ist der Kehlkopf ständig dem Zug durch die Trachea ausgesetzt (Abb. 7.11/2), in der Stärke abhängig von Zwerchfellstand und Kopfstellung. Dorsalflexion des Kopfs und tiefe Einatmung sowie ein Aufsteigen des Kehlkopfs beim Bilden hoher Töne vergrößern den Trachealzug und bewirken eine Verkürzung der Stimmlippen, da die Kraft des Trachealzuges hauptsächlich vor dem Krikothyroidgelenk angreift. Alle Muskeln, die den Kehlkopf aufwärts bewegen und somit den Zug durch die Trachea verstärken, unterstützen eine Stimmlippenverkürzung (Abb. 7.11/4, 5). Umgekehrt wirkt das Lig. conicum einer Verkürzung der Stimmlippen entgegen (Abb. 7.11/B). Außerdem könnten an den Aryknorpeln und an der Ringknorpelplatte entspringende Ösophagusmuskeln durch Zug nach unten sowie der M. thyropharyngeus durch Annäherung beider Schildknorpelplatten eine Stimmlippenverlängerung herbeiführen (Abb. 7.11/C, D).

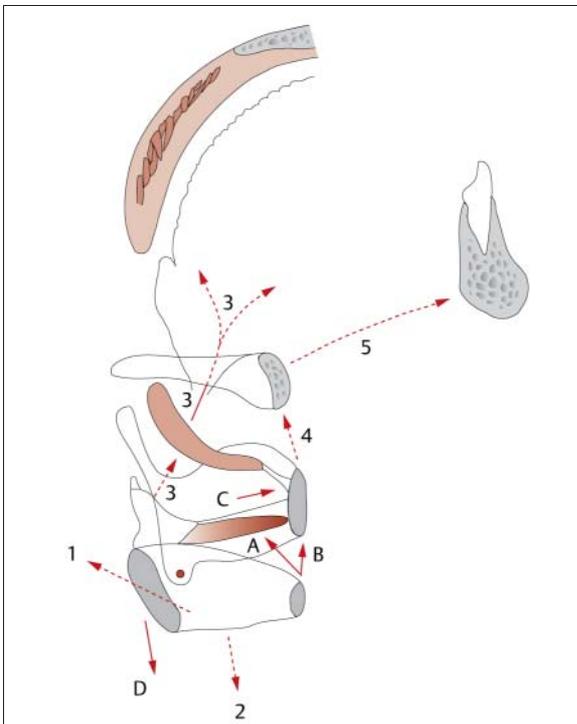


Abb. 7.11 Erweitertes Schema des Spannapparats (nach W. u. A. Zenker); ausgezogene Pfeile = stimmlippenverlängernde (spannungserhöhende) Kräfte; gestrichelte Pfeile = stimmlippenverkürzende (spannungsvermindernde) Kräfte.

Glottisfunktion

■ Schwingungsablauf

Die schwingenden Stimmlippen bewegen sich nicht allein in der Horizontalebene, sondern zugleich in vertikaler Richtung (Abb. 7.12). Zusätzlich zu dieser „Grundbewegung“ und weitgehend unabhängig von ihr erfolgt die „Randkantenverschiebung“, eine Eigenbewegung der gegenüber Muskelkörper und Stimmband verschieblichen Schleimhaut (Abb. 7.13). Dabei rollt die Schleimhaut ellipsenförmig ab und zeigt in bestimmten Schwingungsphasen auch entgegengesetzte Bewegungstendenzen. Während kraniale Anteile in der Öffnungsphase noch nicht vollständig auf der Stimmlippenoberfläche nach lateral verstrichen sind, beginnt subglottisch schon eine Medialverlagerung, die die Schlussphase einleitet (vertikale Phasendifferenz, Abb. 7.14).



Hirano machte darauf aufmerksam, dass sich die Gewebeschichten in Abhängigkeit vom Spannungszustand der Stimmlippen unterschiedlich am Schwingungsablauf beteiligen. Bei geringer Stimmlippenspannung werden Muskel und Schleimhaut gleichermaßen verformt, aber mit zunehmender Anspannung nimmt der Anteil muskulärer Wellenbewegungen ab. Bei stärkster Spannung von Muskel und Schleimhaut ergeben sich nur noch Schwingungen kleiner Amplitude ohne wellenförmige Bewegungen.

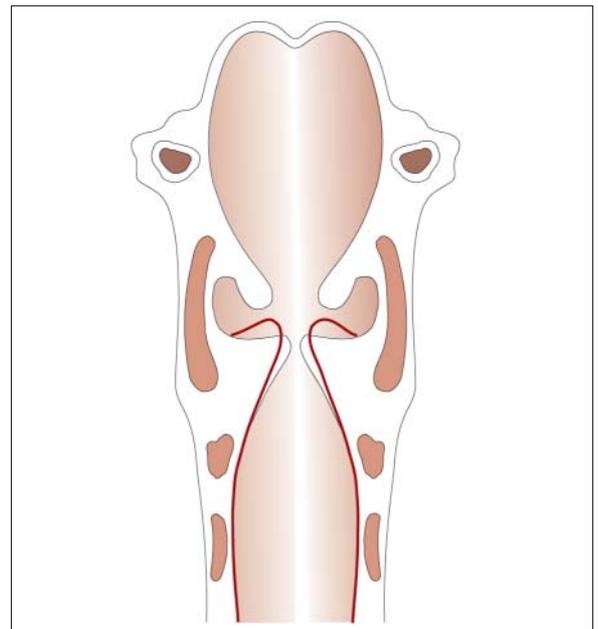


Abb. 7.12 Schwingungsablauf der Stimmlippen (nach Schönhärl), Grundbewegung.

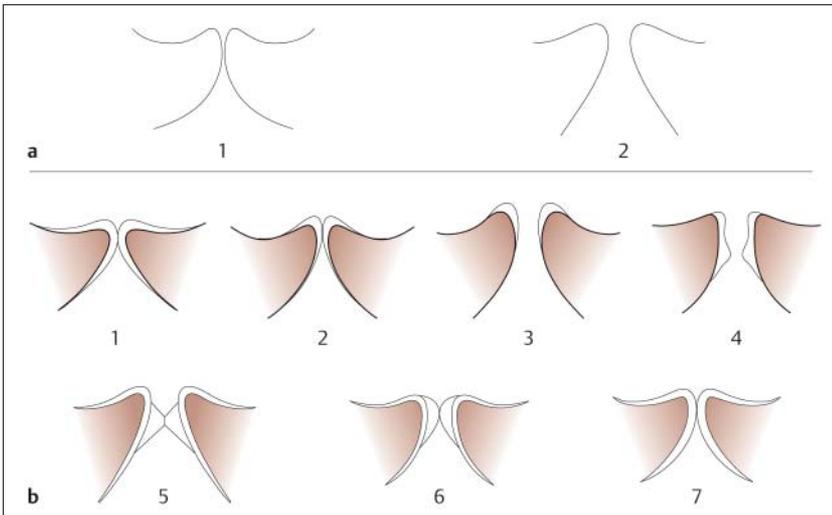


Abb. 7.13 a, b Schwingungsablauf der Stimmlippen (nach Schönhärl), a Grundbewegung, b Randkantenverschiebung.

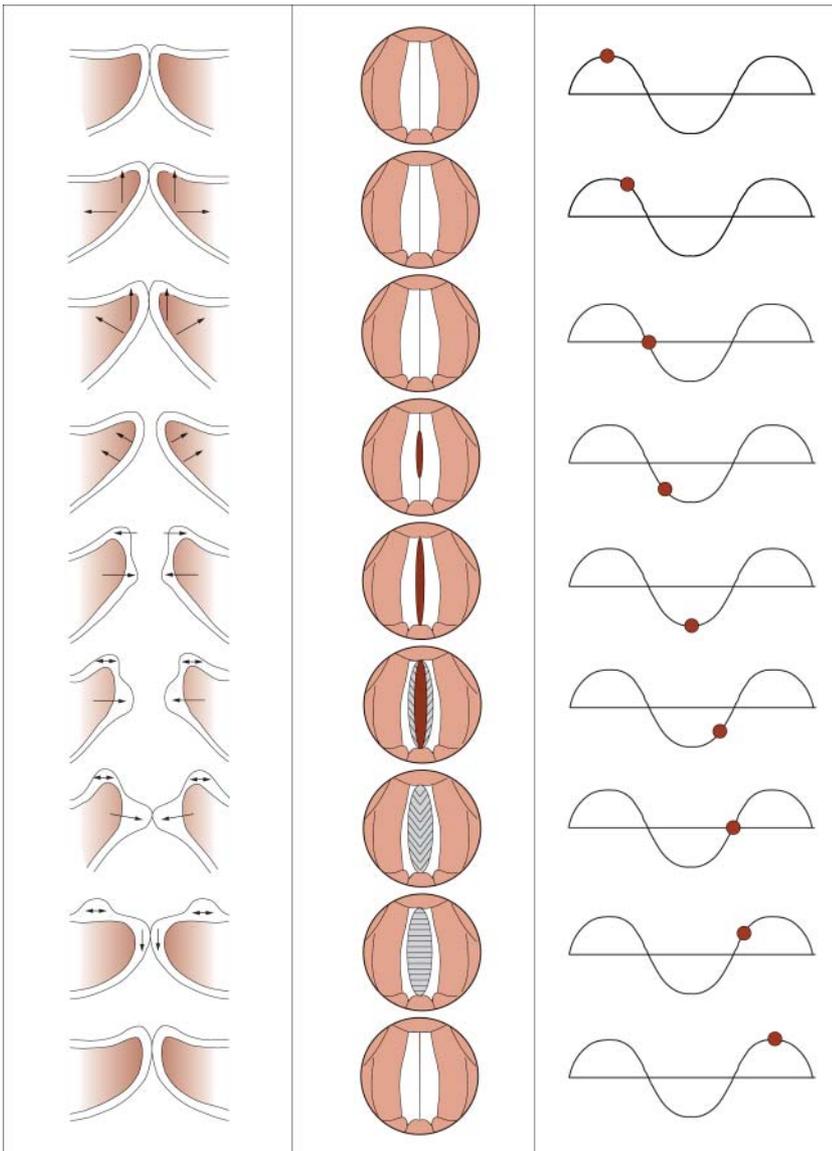


Abb. 7.14 Normaler Bewegungsablauf der Stimmlippen während der Phonation (in Anlehnung an Schönhärl).

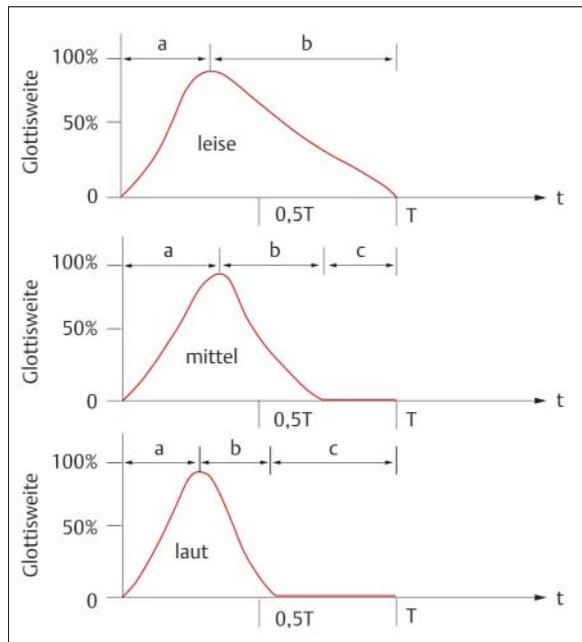


Abb. 7.15 Änderung des Phasenverhältnisses zugunsten der Schlussphase bei ansteigender Lautstärke (nach Wendler). a = Öffnungsphase, b = Schließungsphase, c = Schlussphase.

Der Schwingungsablauf ändert sich bei Variation der Tonhöhe: Mit zunehmender Tonhöhe nehmen die Amplituden und die Randkantenverschiebung ab. Phasenverhältnisse und Schlussphase innerhalb eines Zyklus werden dagegen weniger von der Tonhöhe beeinflusst, sondern überwiegend von der Stimmstärke (Abb. 7.15). Mit zunehmender Stimmstärke verkleinert sich der Offenquotient (Verhältnis von offenem zu geschlossenem Anteil innerhalb einer Schwingungsperiode). Gleichzeitig nimmt der Geschwindigkeitsquotient (Verhältnis der Geschwindigkeit der Lateralbewegung zur Geschwindigkeit der Medialbewegung während der offenen Phase) zu, d.h. die Schließungsphase verkürzt sich, die Stimmlippen kehren von der Lateralposition innerhalb einer Periode schneller in die Medianposition zurück.

Die Änderung des Phasenverhältnisses zugunsten der Schlussphase bei ansteigender Stimmstärke ist ein wesentliches Merkmal im Schwingungsverhalten der Stimmlippen. Mit wachsender Stimmintensität werden die Amplituden weiter und die Randkantenverschiebung prägt sich deutlicher aus.

■ Primärschall des Kehlkopfs

Bei der Umwandlung von aerodynamischer in akustische Energie durch die Stimmlippenschwingungen wird der kontinuierliche Luftstrom in eine Folge von Stimpulsen unterteilt, die einer Serie von harmonischen Obertönen mit gleichmäßig abnehmenden Am-

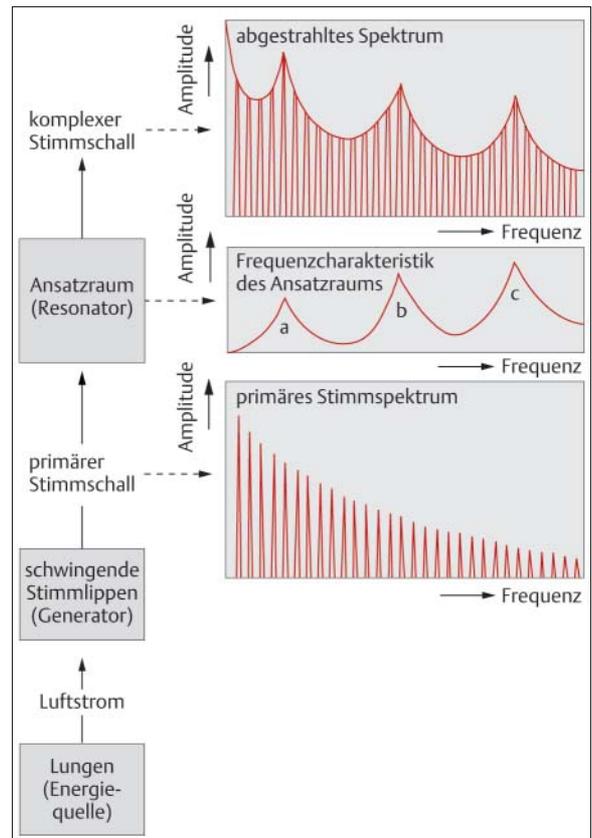


Abb. 7.16 Schematische Darstellung der Stimmbildung und Klangformung (modifiziert nach Sundberg).

plituden entspricht (31, Abb. 7.16). Die Art der Schallerzeugung im Glottisbereich als Quelle hängt dabei von den Stimmlippenschwingungen ab. Konstitutionelle Eigenschaften wie Länge und Dicke der Stimmlippen, das Verhältnis ihrer muskulären und bindegewebigen Anteile zueinander sowie die Ausprägung von Seitendifferenzen bilden die Grundlage. Zustandsänderungen der schwingenden Gewebe und nervale Steuerungsmechanismen wirken sich ebenfalls aus. Bei stimmgesunden Personen entsprechen Schwingungen geringer Amplitude und kurzer Schlussphase einem einfachen Stimm-signal mit schmalen Spektrum. Unter Steigerung des subglottischen Drucks und der Lautstärke kommt es zur Verlängerung der Schlussphase, wodurch ein breiteres Spektrum mit mehr Obertönen entsteht. Bei Steigerung der Tonhöhe verringert sich infolge der zunehmenden Grundfrequenz, die den Abstand zwischen den Teiltönen bestimmt, die Teiltonzahl.

■ Aerodynamik der Glottis

Wie eng die Funktionen von Glottis und Ansatzräumen zusammenwirken und voneinander abhängen, zeigen hoch auflösende Druckmessungen im Glottisbereich (29).