

Grundlagen der Stimmfunktion

Sabine S. Hammer, Anna Teufel-Dietrich

- 2.1 Anatomische Grundlagen – 7**
 - 2.1.1 Anatomie des Kehlkopfes – 7
 - 2.1.2 Funktion der Kehlkopfmuskeln – 9
 - 2.1.3 Innervation des Kehlkopfes – 11
 - 2.1.4 Anatomie des Atemapparates – 12
 - 2.1.5 Funktion der Atemmuskulatur – 13
 - 2.1.6 Anatomie des Vokaltraktes (Ansatzrohrs) – 14
- 2.2 Physiologie der Primärfunktionen – 15**
 - 2.2.1 Die Primärfunktion des Kehlkopfes – 15
 - 2.2.2 Physiologie der Atmung – 16
 - 2.2.3 Die Primärfunktion des Vokaltraktes (Ansatzrohrs) – 20
- 2.3 Akustische Grundlagen – 20**
- 2.4 Physiologie der Stimmgebung – 23**
 - 2.4.1 Stimmlippenschwingung – 23
 - 2.4.2 Stimmatmung – 24
 - 2.4.3 Resonanzbildung – 26
 - 2.4.4 Stimmleistungen – 27
 - 2.4.5 Die Sprechstimme – 30
 - 2.4.6 Die gesunde Stimme – 30
 - 2.4.7 Die Singstimme – 31
- 2.5 Zentrale Kontrolle der Stimmfunktion – 33**
 - 2.5.1 Neuromuskuläre Kontrolle – 34
 - 2.5.2 Audiophonatorische Kontrolle – 34
 - 2.5.3 Musikalität – 34

2.6 Artikulation – 35

2.6.1 Vokalbildung – 35

2.6.2 Konsonantenbildung – 36

2.6.3 Einfluss der Artikulation auf die Glottisfunktion – 36

2.7 Stimmentwicklung – 37

2.7.1 Die Säuglingsstimme – 38

2.7.2 Die Stimme im Kindesalter – 38

2.7.3 Stimmwechsel (Mutation) – 39

2.7.4 Die Stimme des Erwachsenen – 39

2.7.5 Die Altersstimme – 40

Literatur – 40

2.1 Anatomische Grundlagen

Die menschliche Stimme bildet die Grundlage sprachlicher Äußerung. Ähnlich wie ein Musikinstrument erzeugt der Körper einen Klang, den Stimmklang, der durch die Bildung von Lauten geformt und so zu Sprache wird. Das gesprochene Wort entsteht also durch das Zusammenwirken von Stimmgebung (Phonation) und Lautbildung (Artikulation). Der Stimmklang entsteht im Kehlkopf, durch die Schwingung der Stimmlippen. Erzeugt wird diese Schwingung durch Atemluft, die aus der Lunge strömt. Der an den Stimmlippen gebildete Primärklang wird in den Räumen oberhalb der Stimmlippen (Rachen-, Mund- und Nasenraum), dem sog. Ansatzrohr oder Vokaltrakt, verstärkt und geformt. Dadurch entsteht einerseits der spezifische Klangcharakter einer Stimme, andererseits werden hier einzelne Laute gebildet. Die Stimmgebung erfolgt demnach durch das Zusammenwirken dreier Organsysteme: Atemapparat, Kehlkopf und Ansatzrohr.

2.1.1 Anatomie des Kehlkopfes

Der Kehlkopf besteht aus einem Gerüst von Knorpeln (► **Übersicht 2.1**), die durch Bänder (Bindegewebe) und Muskeln (► **Übersicht 2.2**) miteinander verbunden sind. Die Innenseite des Kehlkopfes ist mit Schleimhaut ausgekleidet.

Gerüst

Der **Ringknorpel** umschließt ringförmig das obere Ende der Luftröhre. Auf dem Ringknorpel liegt, nach hinten offen, der **Schildknorpel**. Der Schildknorpel läuft nach oben vorne winkelförmig zu und ist an dieser Stelle als sog. Adamsapfel tast- und sichtbar. Auf dem hinteren oberen Rand des Ringknorpels befinden sich die zwei **Stellknorpel**. Sie besitzen jeweils drei Fortsätze, von denen nur der nach vorne gerichtete **Processus vocalis** und der seitliche **Processus muscularis** von funktioneller Bedeutung sind. Funktionell wird zum Kehlkopf noch das Zungenbein gezählt. Dieses liegt als Knochenspange, nach hinten offen, oberhalb des Schildknorpels und ist nur über Muskeln (nicht gelenkig) mit den benachbarten Strukturen verbunden.

Übersicht 2.1

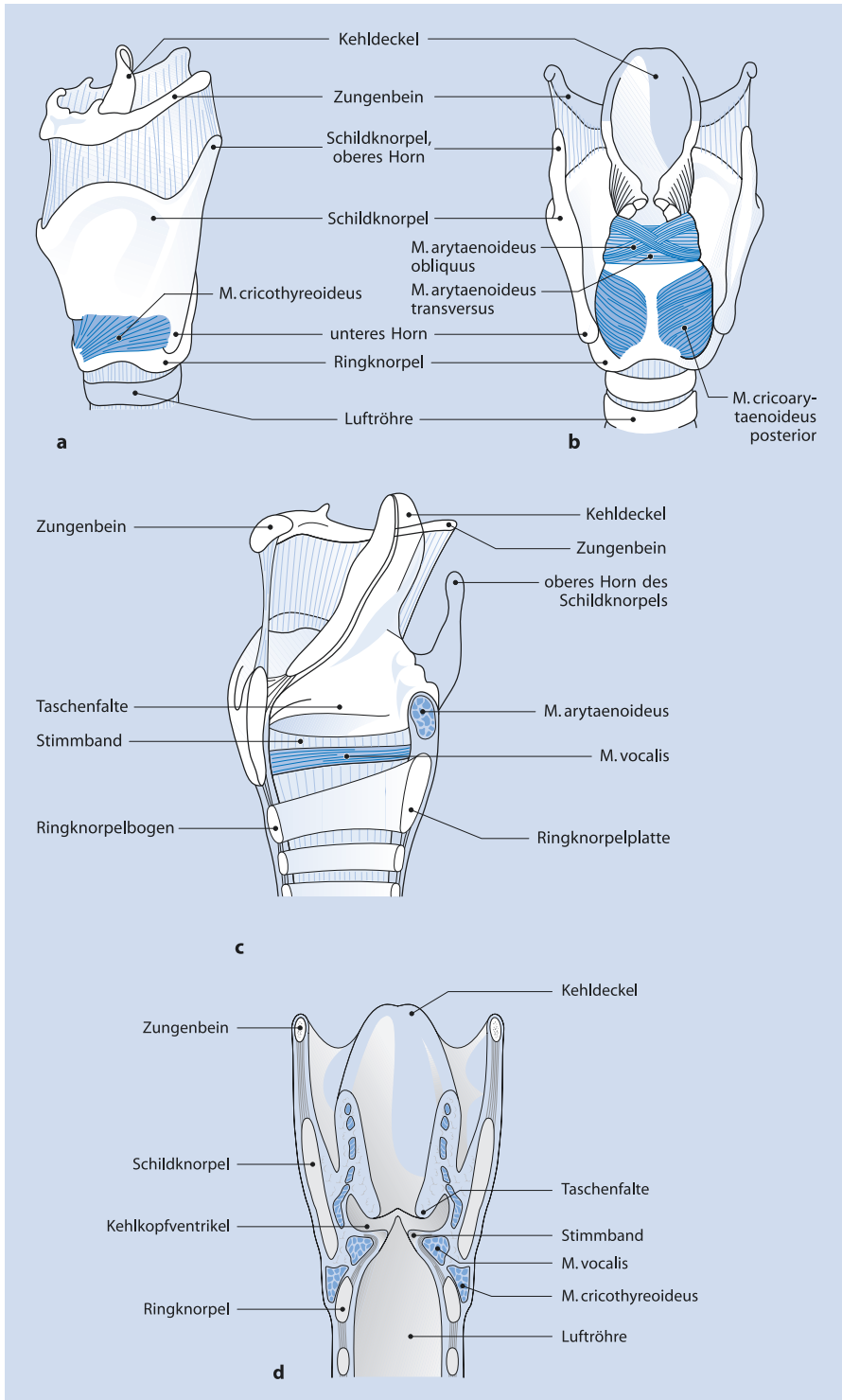
Kehlkopfgerüst

- Ringknorpel, Cartilago cricoidea (Cricoid)
- Schildknorpel, Cartilago thyroidea (Thyreoid)
- 2 Stellknorpel, Cartilagines arytaenoideae (Aryknorpel)
- Zungenbein, Os hyoidea (Hyoid)
- Knorpel des Kehldeckels, Cartilago epiglottica (Epiglottis)
- Die untere Spitze des Kehldeckelknorpels ist an der Innenseite des Kehlkopfes befestigt

Muskulatur

Die Bezeichnung der Kehlkopfmuskeln ergibt sich anhand der jeweiligen Knorpel, an welchen ihr Ursprung ist und zu welchen sie ziehen. Alle Kehlkopfmuskeln existieren paarweise. Jeder Muskel verfügt über eine deutsche Bezeichnung, eine lateinische Bezeichnung und eine Abkürzung. Sie werden in die **innere** (innerhalb bzw. unterhalb des Schildknorpels gelegene) und die **äußere Kehlkopfmuskulatur** (außerhalb des Schild- bzw. Ringknorpels gelegene) unterteilt (► **Übersicht 2.2**). Die wichtigsten der an der Stimmgebung beteiligten Muskeln sind in (► **Abb. 2.1**) dargestellt.

Zu den **inneren Kehlkopfmuskeln** gehört der Stimmlippenmuskel M. thyreoarytaenoideus (auch M. internus), kurz M. vocalis. Er bildet das Kernstück der rechten bzw. linken Stimmlippe. Jeweils einer dieser Muskeln zieht von der Innenseite des Schildknorpels zum Processus vocalis der Stellknorpel. Oberhalb der Stimmlippen verläuft der Taschenfaltenmuskel M. ventricularis. Der hintere Ringknorpel-Stellknorpel-Muskel M. cricoarytaenoideus posterior, kurz M. posticus genannt, zieht von der hinteren Fläche des Ringknorpels zum Processus muscularis der Stellknorpel. Der seitliche Ringknorpel-Stellknorpel-Muskel M. cricoarytaenoideus lateralis, kurz M. lateralis, zieht von den seitlichen Anteilen des Ringknorpels ebenfalls zu den Stellknorpeln. Die quer verlaufenden Stellknorpelmuskeln Mm. arytaenoidei obliqui et transversi, kurz M. transversus und M. obliquus, ziehen von einem



■ **Abb. 2.1a–d** Kehlkopf: Gerüst und Muskulatur. Knorpeliges Kehlkopfgerüst und Kehlkopfmuskeln **a** in Seitenansicht, **b** von hinten betrachtet. **c** Innenansicht des Kehlkopfes, **d** Frontalschnitt mit Blick nach vorne

Stellknorpel zum anderen. Von den **äußeren Kehlkopfmuskeln** ist der Ringknorpel-Schildknorpel-Muskel *M. cricothyreoideus*, kurz *M. externus*, von besonderer Bedeutung für die Kehlkopffunktion. Er verläuft vom vorderen oberen Rand des Ringknorpels zum vorderen unteren Rand des Schildknorpels.

Übersicht 2.2

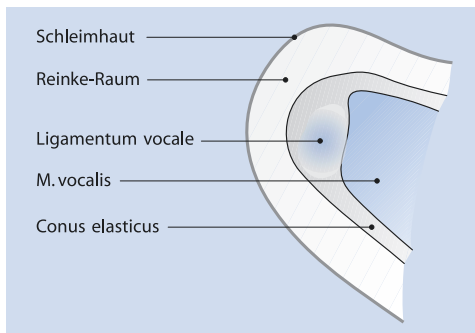
Die innere und äußere Kehlkopfmuskulatur

— Innere Kehlkopfmuskulatur

- *M. thyroarytaenoideus* bzw. *M. vocalis* (kurz: *M. vocalis*)
Stimmlippenmuskel
- *M. cricoarytaenoideus posterior* (kurz: *M. posticus*)
Hinterer Ringknorpel-Stellknorpel-Muskel
- *M. cricoarytaenoideus lateralis* (kurz: *M. lateralis*)
Seitlicher
Ringknorpel-Stellknorpel-Muskel
- *M. arytaenoideus transversus* (kurz: *M. transversus*)
Quer verlaufender Stellknorpelmuskel
- *M. arytaenoideus obliquus* (kurz: *M. obliquus*)
Quer verlaufender Stellknorpelmuskel
- *M. ventricularis*
Taschenfaltenmuskel
- Äußere Kehlkopfmuskulatur
 - *M. cricothyreoideus* (kurz: *M. externus*)
Ringknorpel-Schildknorpel-Muskel

Aufbau der Stimmlippen

Die durchschnittliche **Länge** der Stimmlippen beträgt beim weiblichen Kehlkopf etwa 11–13 mm, beim männlichen 13–16 mm (Nawka und Wirth 2008, die Angaben in der Literatur schwanken zwischen 1 cm und 2,8 cm). Die Stimmlippen bestehen neben Muskelmasse aus einem ligamentösen (bindegewebigen) äußeren Rand, dem **Stimmband** (*Ligamentum vocale*), und sind von Schleimhaut überzogen (Abb. 2.2). Die Schleimhaut liegt locker und beweglich auf der Stimmlippe auf. Zwischen Schleimhaut und Stimmband befindet sich der sog.



■ **Abb. 2.2** Stimmlippe: Querschnitt (schematische Darstellung)

Reinke-Raum. Der bindegewebige Anteil der Stimmlippe überzieht als **Conus elasticus** die gesamte Oberfläche des *M. vocalis*. Lediglich der freie obere Rand wird als *Ligamentum vocale* bezeichnet.

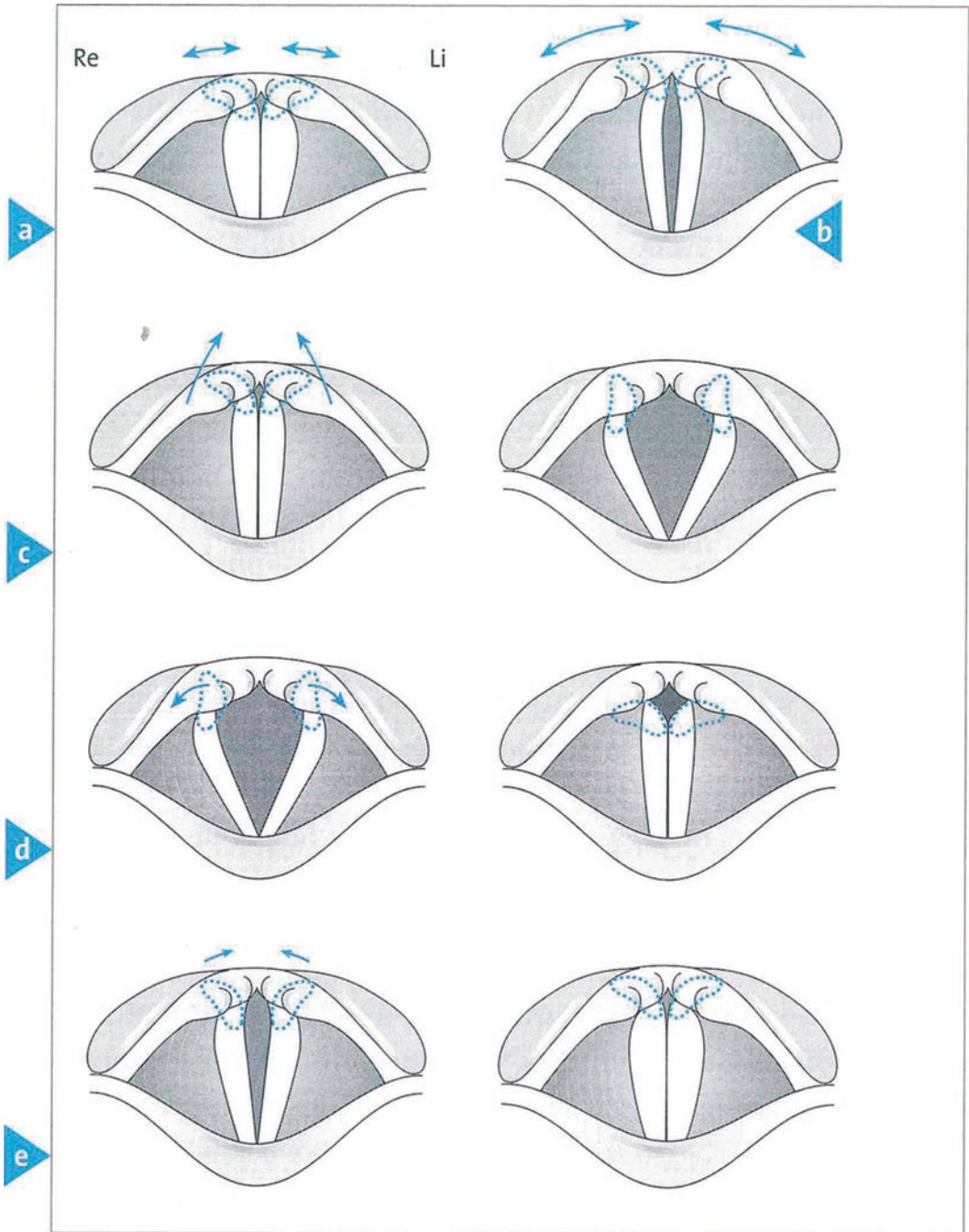
2.1.2 Funktion der Kehlkopfmuskeln

Öffnen und Schließen der Stimmritze

Die grobe Beweglichkeit des Kehlkopfes besteht im Öffnen und Schließen des Raumes zwischen den Stimmlippen, der sog. Stimmritze (**Glottis**). Der einzige Muskel, der die Stimmlippen voneinander weg bewegt, damit die Stimmritze **öffnet**, ist der *M. posticus*. Durch Zug des *M. lateralis* und des *M. transversus* wird der Glottisspalt **geschlossen**. Der *M. lateralis* schließt dabei die vorderen zwei Drittel der Stimmritze, indem er den *Processus muscularis* der Stellknorpel nach vorne zieht. Durch Zug des *M. transversus* wird das hintere Drittel geschlossen (Abb. 2.3).

Spannung der Stimmlippen

Der *M. cricothyreoideus* und der *M. vocalis* (*M. thyroarytaenoideus*) spannen die Stimmlippen. Durch den Zug des ***M. cricothyreoideus*** wird der Ringknorpel nach hinten oben gekippt und so im vorderen Teil dem Schildknorpel angenähert. Der hintere Teil des Ringknorpels entfernt sich mit den Stellknorpeln von der Innenseite des Ringknorpels. Dadurch entsteht eine passive Spannung der Stimmlippen



■ **Abb. 2.3** Muskelfunktionen und Ausfall der Muskelfunktionen beim Öffnen und Schließen der Glottis (Aus Nawka und Wirth 2008; mit freundlicher Genehmigung). a) Ausfall des M. cricothyroideus: Stimmlippen kurz, wulstig, schlaff, respiratorische Beweglichkeit normal. b) Ausfall des M. vocalis: Stimmlippen lang, ovalärer Spalt, respiratorische Beweglichkeit normal. c) Phonationsstellung der Stimmlippen links, Öffnung der Glottis durch den M. cricoarytaenoideus posterior rechts. d) Aktion des M. cricoarytaenoideus lateralis: links Glottis in Respiationsstellung, rechts Kontraktion des Muskels mit offenem interkartilaginärem Dreieck. e) Adduktion des M. arytaenoideus: Aktion der Aryknorpel aus der Paramedianposition links in die Medianposition rechts

■ **Tab. 2.1** Funktion und Innervation der wichtigsten Kehlkopfmuskeln

Muskel	Funktion	Innervation
<i>Innere Kehlkopfmuskeln</i>		
M. vocalis	Stimmklappenheber, -schließer	N. laryngeus inferior (N. recurrens)
M. lateralis	Schließt vordere zwei Drittel der Stimmklappen	N. laryngeus inferior (N. recurrens)
M. transversus	Schließt hinteres Drittel der Stimmklappen	N. laryngeus inferior (N. recurrens)
M. posticus	Stimmklappenöffner	N. laryngeus inferior (N. recurrens)
M. ventricularis	Schließt Taschenfalten	N. laryngeus superior
<i>Äußerer Kehlkopfmuskel</i>		
M. cricothyroideus	Stimmklappenheber	N. laryngeus superior

(Sataloff 2005). Der **M. vocalis** besitzt die Fähigkeit zu aktiver isometrischer Muskelaktion, d. h., dass die Spannung innerhalb der Stimmklappen zunimmt, ohne dass ihre Länge verändert wird. Außer am Spannungsaufbau ist der M. vocalis damit auch am Schließvorgang der Stimmritze beteiligt.

Die Funktion des **M. ventricularis** ist die Annäherung der Taschenfalten aneinander. Ein Überblick über die Funktion der wichtigsten inneren und äußeren Kehlkopfmuskeln findet sich in ■ **Tab. 2.1**.

Andere Funktionen

In der ► **Übersicht 2.3** sind weitere Muskeln dargestellt, die an der Kehlkopffunktion beteiligt sind und zu den äußeren Kehlkopfmuskeln gehören. Sie sind im Wesentlichen für das Heben, Senken und die Fixation des Kehlkopfes zuständig.

Übersicht 2.3

Weitere äußere Kehlkopfmuskeln

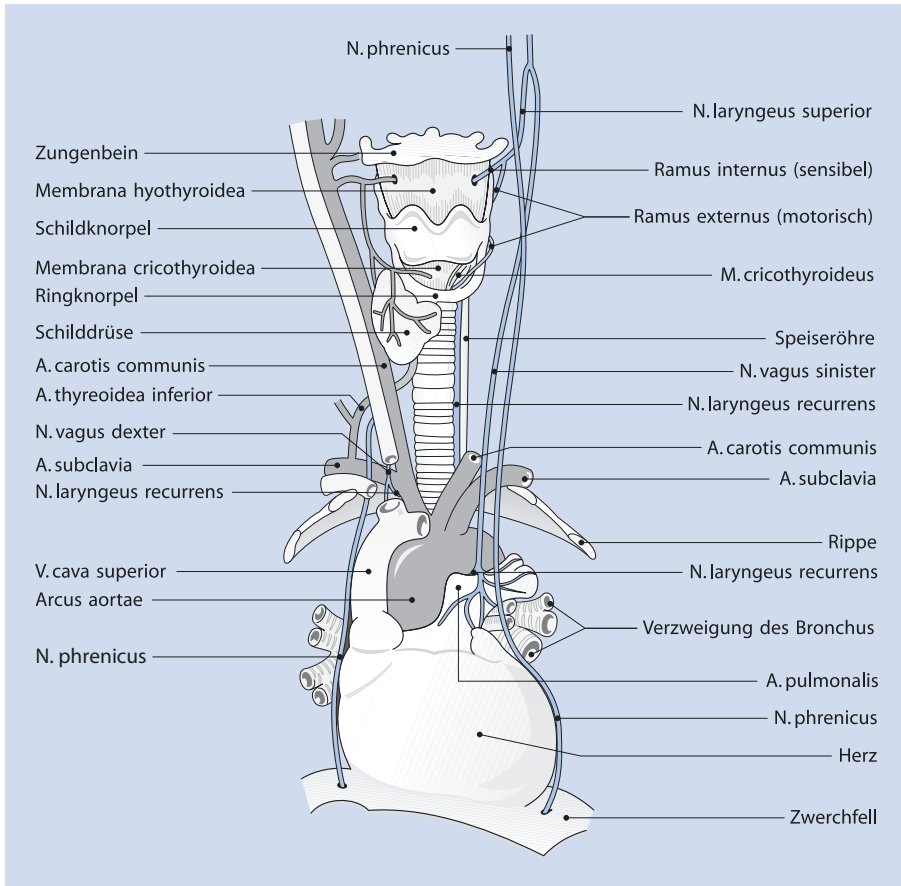
- M. constrictor pharyngis inferior
 - zieht von den Seitenflächen des Schild- und Ringknorpels zur Hinterwand des Pharynx
 - fixiert den Kehlkopf und bewegt ihn rückwärts
- M. stylopharyngeus
 - zieht von der Schädelbasis aus zum oberen Rand des Schildknorpels
 - bewegt den Kehlkopf nach oben

- M. sternothyroideus
 - zieht vom Brustbein zur hinteren Außenfläche des Schildknorpels
 - bewegt den Kehlkopf nach unten, kippt den Schildknorpel nach hinten, entspannt die Stimmklappen passiv
- M. thyrohyoideus
 - zieht von der hinteren Außenfläche des Schildknorpels zum Zungenbein
 - bewegt entweder das Zungenbein abwärts oder den Kehlkopf aufwärts
 - bildet den Antagonisten zum M. cricothyroideus

2.1.3 Innervation des Kehlkopfes

Die willkürliche Steuerung der Kehlkopfmuskulatur erfolgt von der motorischen Hirnrinde aus. Die Nervenfasern verlaufen durch Hirnnervenkerne und Hirnstamm, kreuzen zu 80% und treten auf beiden Seiten als **N. vagus** unterhalb der Brücke (unterer Teil des Hirnstamms, auch: Pons) aus. Bereits im oberen Halsteil zweigt der **N. laryngeus superior** vom N. vagus ab und teilt sich in einen inneren und einen äußeren Ast (Ramus internus und externus). Der innere Ast versorgt sensibel die obere Kehlkopfschleimhaut bis zur Stimmlippe. Der äußere Ast versorgt motorisch den M. cricothyroideus sowie den M. constrictor pharyngis und den M. ventricularis.

Der N. vagus verläuft seitlich der Luftröhre weiter abwärts. Oberhalb des Herzens zweigt der



■ Abb. 2.4 Innervation des Kehlkopfes. (Aus Wirth 1995; Nawka und Wirth 2008; mit freundlicher Genehmigung)

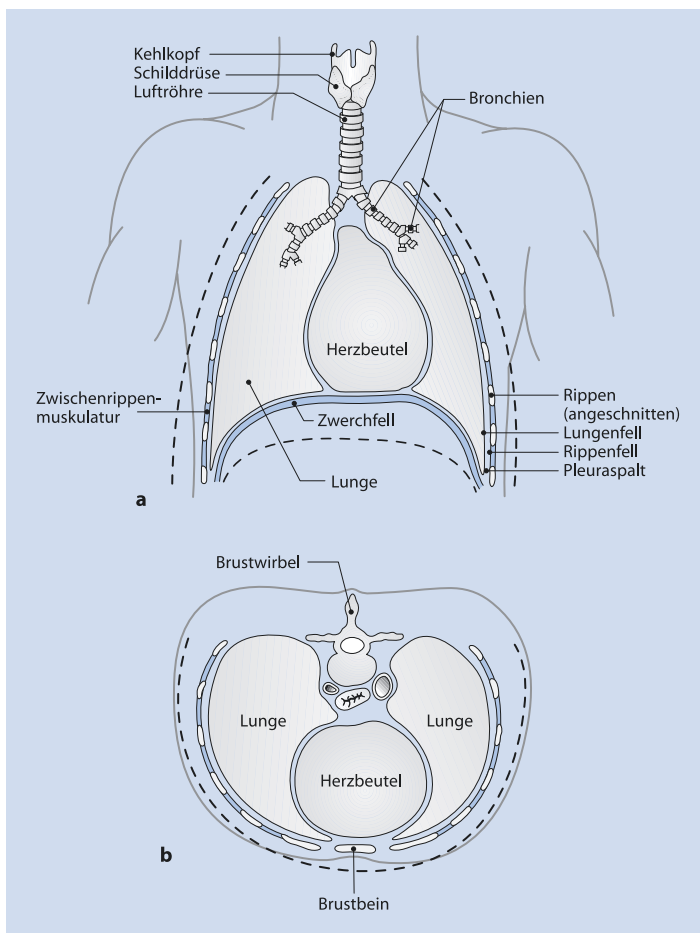
N. laryngeus recurrens (kurz: N. recurrens) ab. Der rechte schlingt sich um die Arteria subclavia, der linke verläuft um den Aortenbogen, beide steigen seitlich der Luftröhre wieder nach oben und treten als **N. laryngeus inferior** unterhalb des Schildknorpels in das Kehlkopfinnere. Dort versorgen sie motorisch sämtliche innere Kehlkopfmuskeln und sensibel die Schleimhaut unterhalb der Stimmlippen ■ Abb. 2.4. ■ Tab. 2.1 liefert eine Übersicht über Funktion und Innervation der wichtigsten Kehlkopfmuskeln.

2.1.4 Anatomie des Atemapparates

Zu den Atmungsorganen gehören die Lungen und die **Luftröhre**. Die Luftröhre beginnt unterhalb des

Ringknorpels und teilt sich nach etwa 10–12 cm in einen rechten und einen linken Hauptbronchus und geht damit in den rechten und den linken Lungenflügel über. Die **Hauptbronchien** verzweigen sich in weitere Bronchien, Bronchiolen und enden in feinen Lungenbläschen, den Alveolen. Diese sind von feinen Blutkapillaren umgeben. Die Lunge ist überzogen von einer glatten, feuchten Haut, dem **Lungenfell (Pleura visceralis)**. Die Innenseite des knöchernen Brustkorbs, der die Lungen umschließt, ist ebenfalls mit einer solchen Haut ausgekleidet, dem **Rippenfell (Pleura parietalis)**. Dazwischen befindet sich der sog. **Pleuraspalt**. Der knöcherne **Brustkorb** (Thorax) besteht aus 12 Rippenpaaren, dem Brustbein und 12 Brustwirbeln. Die **Rippen** sind über Gelenke mit den Brustwirbeln verbunden. Die oberen Rippen sind über knorpelige Enden mit dem

■ **Abb. 2.5a,b** Bewegung von Brustkorb und Zwerchfell bei der Atmung. **a** Brustraum frontal und **b** horizontal. Inspirationsstellung gestrichelt angedeutet. (Aus Friedrich und Biegenzahn 1995; Friedrich et al. 2013; mit freundlicher Genehmigung)



Brustbein verbunden, das 11. und 12. Rippenpaar enden frei.

Die wichtigsten an der Atmung beteiligten Muskeln sind das **Zwerchfell** (Diaphragma) und die **Zwischenrippenmuskulatur** (Mm. intercostales). Das Zwerchfell liegt direkt unterhalb der beiden Lungenflügel und spannt sich kuppelförmig zwischen Brust- und Bauchraum. Die einzelnen Teile des Zwerchfells entspringen am unteren Ende des Brustbeins, seitlich entlang der unteren Brustkorböffnung und hinten auf Höhe der oberen drei Lendenwirbel und ziehen zur Mitte hin. Die **äußeren Zwischenrippenmuskeln** (Mm. intercostales externi) ziehen zwischen den einzelnen Rippen schräg nach vorn unten, die **inneren** (Mm. intercostales interni) zwischen den Rippen schräg nach hinten unten.

2.1.5 Funktion der Atemmuskulatur

Einatmung

Bei Anspannung flacht sich das kuppelförmige Zwerchfell nach unten ab und erzeugt einen Zug auf das Lungengewebe (■ Abb. 2.5). Der so entstehende Unterdruck in den Lungen führt zum Einstromen der Atemluft. Ebenfalls an der **Einatmung** (Inspiration) beteiligt sind die äußeren Zwischenrippenmuskeln. Sie heben den Brustkorb an und erweitern so den Brustraum.

Ausatmung

Für die Ausatmung (Expiration) sind überwiegend die inneren Zwischenrippenmuskeln verantwortlich. Durch das Ziehen der Rippen zueinander verengen

Tab. 2.2 Funktion der Atemmuskulatur

Muskel	Funktion
Zwerchfell	Einatemmuskel → Abflachung der Zwerchfellkuppel bei Anspannung
Äußere Zwischenrippenmuskeln	Einatemmuskulatur → Anhebung des Brustkorbs
Innere Zwischenrippenmuskeln	Ausatemmmuskulatur → Ziehen Rippen zueinander

sie den Brustraum und erzeugen einen Druck auf das Lungengewebe, die Luft strömt aus. Mit der Ausatmung einher geht die Entspannung der äußeren Zwischenrippenmuskeln und des Zwerchfells. Die Muskeln von Bauch und Rücken sowie Schultergürtel und Hals beeinflussen als Atemhilfsmuskulatur die Atembewegungen.

Atemhilfsmuskulatur

Die **Rumpfmuskulatur**, die als Atemhilfsmuskulatur die Atembewegungen unterstützt, dient ursprünglich dem Halte- und Bewegungsapparat. Sie ist beteiligt an Bewegungen des Oberkörpers und der Extremitäten und ermöglicht eine aufrechte Körperhaltung (Tab. 2.2).

2.1.6 Anatomie des Vokaltraktes (Ansatzrohrs)

Das Ansatzrohr, auch als Vokaltrakt bezeichnet, ist kein Organ im eigentlichen Sinne, sondern bezeichnet den **Raum zwischen Stimmlippen und Mund- bzw. Nasenöffnung** (Abb. 2.6).

Das Ansatzrohr umfasst:

- Rachenraum
- Mundhöhle
- Nasenhöhle
- Nasennebenhöhlen

Der **Rachenraum** gliedert sich in drei Abschnitte:

- **Epipharynx** oder Nasenrachenraum: Bereich oberhalb des weichen Gaumens

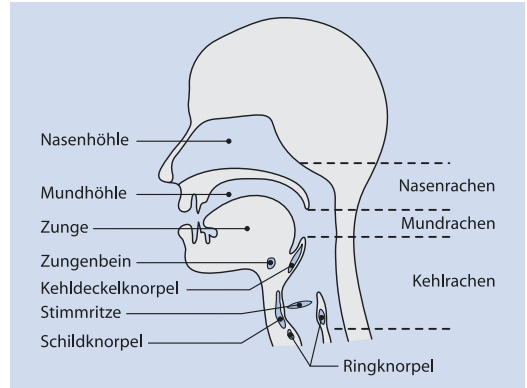


Abb. 2.6 Ansatzrohr

- **Mesopharynx** oder mittlerer Rachenraum (Mundrachen): Raum bis zum Kehlkopfingang
- **Hypopharynx** oder unterer Rachenraum (Kehlrachen): Rachenbereich auf Höhe des Kehlkopfes

Die **eustachische Röhre**, auch Tube oder Ohrtrompete genannt, endet im Bereich des Nasen-Rachen-Raums. Sie verbindet den Raum des Mittelohrs mit den Räumen des Ansatzrohrs.

Der **glottische Raum** befindet sich zwischen dem oberen Rand der Stimmlippen und dem unteren Rand der Taschenfalten. Den **supraglottischen Raum** bildet der Bereich zwischen dem unteren Rand der Taschenfalten und dem Kehlkopfingang (auf Höhe des Epiglottisrandes und der Stellknorpel). Unterhalb der Glottis schließt sich der infra- oder subglottische Teil an.

➤ **Veränderungen des Ansatzrohrs (Verformung, Weitung, Verengung) werden erzeugt durch**

- die Zungen- und Lippenmuskeln,
- die Muskulatur des weichen Gaumens und der Rachenhinterwand sowie
- die Kaumuskulatur (verantwortlich für die Öffnungsweite des Kiefers).

Fazit

- Der Kehlkopf besteht aus einem Knorpelgerüst sowie den inneren und äußeren Kehlkopfmuskeln.

- Die Stimmlippen werden von einem Muskelkörper mit einem bindegewebigen Rand gebildet und sind von Schleimhaut überzogen.
- Die grobe Beweglichkeit der Stimmlippen besteht im Öffnen und Schließen des Raumes zwischen den Stimmlippen.
- Zusätzlich können die Stimmlippen gespannt werden.
- Der Kehlkopf wird durch die Äste des N. vagus, den N. laryngeus superior, den N. laryngeus recurrens und den N. laryngeus inferior innerviert.
- Zu den Atmungsorganen gehören die Luftröhre, die Lungen mit den Bronchien, Bronchiolen und den Lungenbläschen.
- Das Zwerchfell und die Zwischenrippenmuskeln sind die wichtigsten an der Atmung beteiligten Muskeln.
- Als Vokaltrakt wird der Raum zwischen den Stimmlippen und der Mund- bzw. Nasenöffnung bezeichnet.

2.2 Physiologie der Primärfunktionen

Als Primärfunktionen werden Organfunktionen bezeichnet, die entweder angeboren sind oder ohne „fremde“ Hilfe im Laufe der Entwicklung erlernt werden, wie z. B. das Atmen, Schlucken oder das Kauen. Im Gegensatz dazu stehen die Sekundärfunktionen, die sich nur durch entsprechende Sozialkontakte, Vorbilder und Erziehung entwickeln. Zu den Sekundärfunktionen gehört auch die Stimmfunktion. Auch wenn das Schreien als Reflex angeboren ist, bildet sich die Stimme als Grundlage der Kommunikationsfähigkeit nur durch den Kontakt zu Bezugspersonen und durch das Hören von Stimme und Sprache aus.

Sekundärfunktionen besitzen **kein eigenes Organsystem**, d. h., dass sie sich als Ausführungssystem solcher Organstrukturen bedienen, die bereits angelegt sind. Die Stimme bedient sich der Organsysteme Kehlkopf, Atmung und Ansatzrohr. Die primären Funktionen dieser Organe liegen vorwiegend in der Aufnahme von Nahrung und der Versorgung des Organismus mit Sauerstoff.

Primärfunktionen dienen unmittelbar der **Erhaltung des Organismus** und werden hauptsächlich durch das autonome oder vegetative (unwillkürliche) Nervensystem gesteuert. **Sekundärfunktionen** unterliegen der willkürlichen zentralen Steuerung und sind den Primärfunktionen untergeordnet.

➤ Die Funktion der Stimme wird durch die **primären, unwillkürlichen Organtätigkeiten** beeinflusst.

2.2.1 Die Primärfunktion des Kehlkopfes

Schutzfunktion

Die eigentliche Funktion des Kehlkopfes besteht im **Schutz der unteren Atemwege vor dem Eindringen von Fremdkörpern**. Der obere Verdauungstrakt und der Atemweg verlaufen im Rachen parallel (sog. Aerodigestivtrakt) und erst im unteren Teil des Rachens kreuzen sich die beiden Wege. Dies birgt die Gefahr des „Verschluckens“, d. h., dass Speichel, Teile der Nahrung oder Flüssigkeiten in den Kehlkopf eingang oder sogar unterhalb des Stimmlippen-niveaus eindringen. Es muss daher ein reflektorischer Verschluss der unteren Atemwege erfolgen, damit Nahrung, Flüssigkeiten und auch Speichel und Sekret ausschließlich in die Speiseröhre gelangen.

Schluckakt Die Schutzfunktion des Kehlkopfes tritt beim Schluckvorgang in Kraft. Nach Auslösung des Schluckreflexes in der pharyngealen Phase des Schluckens erfolgt eine Anhebung und Vorwärtsbewegung des Zungenbeins und den durch Muskeln damit verbundenen Kehlkopf. Diese Bewegung (superior-anteriore hyolaryngeale Exkursion) ist wichtig für die Öffnung des oberen Ösophagus-sphinkters und die Epiglottiskippung; beides zusammen stellt einen Schutzmechanismus dar, da durch diesen Vorgang der Kehlkopf aus der Bolusschneise gezogen wird. Der reflektorische Verschluss des Kehlkopfes erfolgt auf drei Ebenen: durch Annäherung und Vorwärtsskipfung der Aryknorpel, durch die Epiglottissenkung und durch den Verschluss der Stimmlippen.

Reflektorische Schließfunktion Der Kehlkopf reagiert auf den Kontakt von Fremdkörpern mit den anatomischen Strukturen im Kehlkopfeingang und auf Stimmlippenebene. Dabei kommt es zu einer reflektorischen Schließung der Stimmlippen und der Taschenfalten. In Verbindung damit steht eine ebenfalls reflektorische Kontraktion des Zwerchfells zur Auslösung des Hustenstoßes, um den Fremdkörper wieder hinauszutransportieren.

Doppelventilfunktion

Eine weitere Primärfunktion des Kehlkopfes dient der **Stabilisierung des Brustkorbs** und des Schultergürtels, die zum Ausführen unterschiedlicher Aktivitäten des Körpers erforderlich ist. Während zur Stabilisierung des Brustkorbs ein Überdruck in den Lungen notwendig ist, wird der Schultergürtel im Zusammenhang mit einem Unterdruck in den Lungen stabilisiert.

Überdruckventil Ein Überdruck entsteht bei Verschluss des Kehlkopfes während der Aktivität der Atemmuskeln. Er stabilisiert den Brustkorb in der Weise, dass dieser ein Widerlager für Bewegungen vom Körper weg (Schlagen, Treten, Stoßen, Schieben etc.) bilden kann. Der Überdruck ermöglicht bzw. erleichtert auch alle auspressenden Tätigkeiten (Husten, Stuhlgang, Erbrechen, Gebären etc.). Der Verschluss der Luftröhre erfolgt dabei auf Ebene der Taschenfalten. Sie arbeiten zusammen mit der Ausatemmuskulatur und bilden das Überdruck- oder Auslassventil.

Unterdruckventil Ein Verschluss der Luftröhre vor oder während der Einatmung geschieht auf Ebene der Stimmlippen. Die Stimmlippen bilden also das Unterdruck- oder Einlassventil und arbeiten im Zusammenhang mit der Einatemmuskulatur. Eine Aktivität der inspiratorischen Muskulatur führt zu einer Stabilisierung des Schultergürtels. Erforderlich wird die Stabilisierung des Schultergürtels durch Unterdruck bei Bewegungen der Arme zum Heben des Körpers (Klimmzug, Hangeln, Klettern etc.).

2.2.2 Physiologie der Atmung

Zentrale Steuerung der Atemfunktion

Die Atemfunktion wird aus Arealen des Hirnstamms, dem sog. **Atemzentrum**, über das vegetative

Nervensystem gesteuert. Das vegetative (autonome oder unwillkürliche) Nervensystem reguliert und koordiniert die Funktionen der inneren Organe. Vom Hirnstamm aus werden die Gasanteile im Blut gemessen und die Impulse für die Tätigkeit der Atemmuskeln gegeben.

Atemablauf

Die **Einatmung** geschieht durch die Aktivität des Zwerchfells und der äußeren Zwischenrippenmuskeln. Bei Kontraktion flacht sich das Zwerchfell ab, die Zwischenrippenmuskeln heben den Brustkorb an (■ Abb. 2.5). Die Lungen werden dadurch nach außen gedehnt, ihr Volumen vergrößert und es entsteht somit ein Unterdruck in der Lunge. Um diesen Unterdruck auszugleichen, muss das Lungengewebe mit Luft gefüllt werden. Die Luft strömt durch Mund und Nase, Rachenraum, Kehlkopf, Luftröhre, Bronchien und Bronchiolen in die Lungenbläschen ein und vergrößert so das Lungenvolumen. In den Lungenbläschen findet der Gasaustausch statt: Das Blut wird mit Sauerstoff angereichert, Kohlendioxid wird abgegeben.

Bei der **Ausatmung** wird durch Senkung des Brustkorbs und passive Anhebung des Zwerchfells das Lungenvolumen verkleinert und ein Überdruck in der Lunge erzeugt, sodass die Luft zum Ausgleich wieder ausströmt. Das Zwerchfell wird passiv in die höher stehende Ausgangslage zurückgestellt, die Rippen werden aktiv durch die inneren Zwischenrippenmuskeln zusammengezogen.

➤ **Der entspannte Zustand aller Atemmuskeln wird als Atemruhelage bezeichnet. Er entspricht einer lockeren Ausatemstellung.**

Atemformen

Die Ausdehnung der Lunge kann während des Atmens in alle Richtungen erfolgen. Die Atembewegungen sind nach außen sichtbar. Die Atemformen werden nach den **Richtungen** bezeichnet, in die die Atembewegungen stattfinden.

Bauchatmung Während der Atmung bewegt sich die Bauchdecke; bei der Einatmung wölbt sich der Bauch nach vorne, bei der Ausatmung flacht sich der

Bauch ab, meist in Verbindung mit einer Kontraktion der Bauchmuskulatur. Die Bauchatmung entsteht infolge einer Kontraktion des Zwerchfells bei der Einatmung.

Flankenatmung Auch die Flankenatmung steht in Verbindung mit der Zwerchfellaktivität während der Atmung. Die Ausdehnung der Atembewegungen findet hier im Bereich der Flanken statt. Bei der Bauch- und bei der Flankenatmung strömt die eingeatmete Luft bis in die untersten Lungenregionen.

Brustatmung Bei der Brustatmung hebt sich der Brustkorb während der Einatmung und senkt sich während der Ausatmung. Die Atembewegungen entstehen überwiegend nach vorne und zur Seite, teilweise auch in den Rücken. Aktiv sind dabei die Zwischenrippenmuskeln. Bei der Brustatmung werden die oberen Lungenanteile mit Luft gefüllt.

Klavikularatmung Wird der Brustkorb während der Einatmung besonders stark gedehnt, kann es zu einer Anhebung der Schultern kommen. Weil die Atembewegungen dann in Richtung Schlüsselbein erfolgen, wird diese Atemform als Klavikularatmung bezeichnet.

➤ **Die Atemform, bei der die Atembewegungen ausschließlich im Brust- und Klavikularbereich stattfinden, wird als Hochatmung bezeichnet. Als physiologisch gilt die Kombination von Brust-, Bauch- und Flankenatmung, die sog. kostoabdominale Atmung.**

Atemveränderungen

Zu Veränderungen der Atmung kommt es im Wesentlichen durch **Körperhaltung und Körperaktivität**. Die Körperhaltung bestimmt dabei die Weitungsmöglichkeiten der Atemräume. Je nach körperlichem Aktivitätszustand verändert sich der Sauerstoffbedarf des Körpers.

Beispiel

■ **Atmung in Rückenlage:** Dabei sind die Atemhilfsmuskeln in ihrer Funktion als Halte- und Stützmuskulatur nahezu inaktiv und der Patient kann sich mental und körperlich entspannen. Dadurch kann es zu einer

Vertiefung der Atembewegungen sowie zu einer Verlangsamung des Atemrhythmus kommen und es kann sich die Atempause einstellen. Die Atembewegungen sind hauptsächlich an der Vorderseite des Oberkörpers spürbar. Aber auch die Körperseiten werden in die Atembewegung miteinbezogen.

- **Atmung in Bauchlage:** In dieser Position wird durch das Körpergewicht Druck auf die Atemräume ausgeübt, gegen den das Zwerchfell arbeiten muss. Deshalb ist die Rückenlage zur Kräftigung des Zwerchfells geeignet. Dabei dehnt sich die Atembewegung überwiegend in die Flankenregion aus.
- **Atmung im Sitzen:** Die Atemhilfsmuskulatur ist in dieser Position etwas aktiver am Halte- und Stützmechanismus beteiligt und das Atmen erfordert etwas mehr körperlichen Aufwand. Durch den angewinkelten Oberschenkel im Sitzen wird die untere Flankenregion leicht gedehnt und ist in dieser Position gut spürbar. Dies kann durch Abstützen der Unterarme auf den Oberschenkeln (Kutschersitz) unterstützt werden. Dadurch wird auch die obere Flankenregion gut spürbar. In aufrechter Sitzposition können die Bauch- und Brustatmung gut erspürt werden.
- **Atmung im Stehen:** Die Atemhilfsmuskeln sind im Stehen in ihrer Halte- und Stützfunktion am meisten gefordert. Zudem muss gegen die durch die Aufrichtung erhöhte Schwerkraft angeatmet werden. Der Druck des Schultergürtels auf den Thorax ist im Stehen am höchsten. Die Atmung erfordert in dieser Position den höchsten körperlichen Aufwand. Bei einer guten Aufrichtung kommt es jedoch zu einer Weitung aller Atemräume. Dies kann durch an die Atmung gekoppelte Bewegungen, die das Unterdruckventil aktivieren, unterstützt werden (► Abschn. 2.2.1, „Doppelventilfunktion“).

Ruheatmung In Ruhe ist der Grundumsatz des Körpers gesenkt, der Sauerstoffbedarf geringer. Deshalb sind Atembewegung und Atemfrequenz verhältnismäßig gering. Die Ruheatmung verläuft in **drei Phasen**: Einatmung, Ausatmung und Atempause. Die Dauer von Ein- und Ausatmung beträgt im Verhältnis

1:1,5. In Ruhe dehnen sich die Atemräume gleichmäßig im Brust-, Bauch- und Flankenbereich aus (kostoabdominale Atmung). Im Erwachsenenalter beträgt die Anzahl der Atemzüge 10–20 pro Minute. Physiologisch für die Ruheatmung ist die **Nasenatmung**. Das Flimmerepithel, das die Nasenmuscheln auskleidet, wärmt die Atemluft an, befeuchtet und reinigt sie.

Leistungsatmung Körperliche Aktivität erhöht den Sauerstoffbedarf, es wird mehr und schneller Luft eingeatmet. Die Atembewegungen dehnen sich aus, die Atemfrequenz steigt an. Bei körperlicher Aktivität verkürzt sich die Atempause oder entfällt.

Sprechen oder Singen Sprechen oder Singen erfordert eine besondere Dosierung des Atemstroms, sodass es auch hierbei zu Veränderungen der Atemtiefe, Atembewegung und Atemfrequenz kommt (► Abschn. 2.4.2).

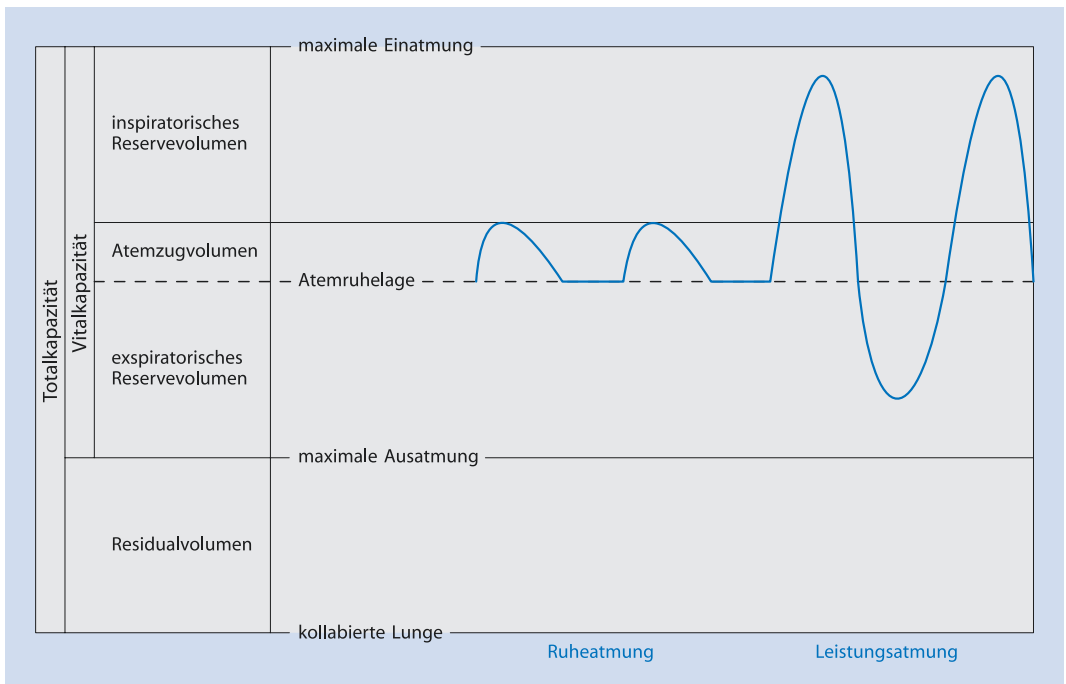
➤ **Veränderungen der Atmung, die sich durch Phonation, beim Sprechen wie beim Singen, ergeben, sind stets der primären Atemfunktion untergeordnet. Die Phonation**

wird also durch einen erhöhten oder verminderten Sauerstoffbedarf verändert.

Atemvolumina

Das Fassungsvermögen der Lunge beträgt beim Erwachsenen etwa 5 Liter Luft. Die Menge an Luft, die ein- und ausgeatmet wird, liegt je nach körperlichem Aktivitätszustand zwischen 0,5 und 3,5 Litern (■ Abb. 2.7). Unterschieden werden folgende Atemvolumina:

- **Atemzugvolumen:** Die Menge Luft, die ein Erwachsener **in Ruhe** ein- und ausatmet, beträgt im Durchschnitt ca. 0,5 Liter.
- **Inspiratorisches Reservevolumen:** Bei maximaler Einatmung wird das Atemzugvolumen um etwa 1,5 Liter ergänzt.
- **Expiratorisches Reservevolumen:** Es wird durch maximale Ausatmung erreicht und beträgt ebenfalls etwa 1,5 Liter.
- **Vitalkapazität:** Die Summe aus Atemzugvolumen, inspiratorischem und expiratorischem Reservevolumen beträgt ca. 3,5 Liter.



■ Abb. 2.7 Atemvolumina

- **Residualvolumen:** Die Luftmenge, die nach maximaler Ausatmung in der Lunge zurückbleibt, liegt bei etwa 1,5 Litern. Das Residualvolumen kann nur durch Verletzung oder Kollabieren der Lunge entweichen.
- **Totalkapazität:** Die Menge an Luft, die sich einschließlich des Residualvolumens nach maximaler Einatmung in der Lunge befindet (ca. 5 Liter).

Pathophysiologie der Atmung

Eine Störung der Atemfunktion kann organische oder funktionelle Ursachen haben. Organische Atemwegserkrankungen werden in der Regel medikamentös oder operativ behandelt.

Organische Atemstörungen Erkrankungen des **zentralen Nervensystems** können zu einer Fehlstuerung der Atmung führen. Die sog. **obstruktiven Atemwegserkrankungen** wie COPD („chronic obstructive pulmonary disease“), Asthma bronchiale, Tumoren oder Entzündungen der Luftwege erhöhen den Strömungswiderstand in den Atemwegen und erschweren so den physiologischen Atemablauf. **Restriktive Atemwegserkrankungen** wie Lungentzündungen oder ein Emphysem (irreversible Überblähung der Lungenbläschen) verringern das effektive Lungenvolumen (Friedrich et al. 2013).

Funktionelle Atemstörungen Die Atemwege sind organisch unauffällig. Die möglichen **Ursachen** für eine funktionelle Einschränkung der Atemfunktion sind vielfältig. Da die Atmung im Zusammenhang mit Körperhaltung, Körperspannung und Stimmgebung abläuft, können Dysfunktionen dieser Bereiche eine Abweichung von der physiologischen Atmung begünstigen. Der körperliche und psychische Allgemeinzustand übt ebenfalls einen direkten Einfluss auf die Funktion der Atemorgane aus.

- **Von einer funktionellen Atemstörung kann nur bei einer dauerhaften pathologischen Veränderung der Atmung gesprochen werden.**

Eine funktionelle Atemstörung kann sich anhand der folgenden **Symptome** bemerkbar machen:

- **Verschiebung der Atemmittellage:** Sprechen auf „Restluft“ oder Luftholen vor dem Erreichen der Atemruhelage.
- **Hochatmung (kostoklavikuläre Atmung):** Atembewegungen finden ausschließlich im Bereich Schultern/Brustkorb statt.
- **Schnappatmung:** ruckartige, überhastete Einatmung (verbunden mit dem Gefühl der „Atemlosigkeit“).
- **Atemgeräusche (Stridor):** meist geräuschvolle, forcierte Einatmung.
- **Erhöhte Atemfrequenz:** deutlich mehr als 20 Atemzüge pro Minute.
- **Paradoxe Atmung:** Einziehen der Bauchdecke während der Einatmung mit Anheben des Brustkorbs, Einsinken des Brustkorbs und Vorwölbung des Bauches bei der Ausatmung.

Diese Auffälligkeiten können in der Ruhe- und während der Sprechatmung auftreten.

Bei der **Phonation** kann ein Sprechen auf „Restluft“ auftreten (als Abweichung von der Atemmittellage): Die Atemruhelage wird „überzogen“, die Einatmung erfolgt zu spät und entsprechend forciert. Eine pathologische Phonationsatmung kann sich auch anhand einer verkürzten Tonhaldedauer (► Abschn. 2.4.4) bzw. einer Verringerung der Silbenanzahl pro Einatmung zeigen.

- **Abweichungen vom physiologischen Atmungsablauf sind in jedem Fall unökonomisch, d. h., sie führen nicht zur optimalen Sauerstoffversorgung und/oder kosten zu viel Kraft.**

Beispiel

Bei der Hochatmung werden nur die oberen Bereiche der Lunge mit Luft gefüllt. Das untere Lungendrittel ist jedoch am stärksten durchblutet und kann den größten Teil an Gasaustausch leisten. Für die nötige Sauerstoffversorgung sind also mehr Atemzüge erforderlich. Der Krafteinsatz ist bei der Hochatmung zusätzlich dadurch erhöht, dass bei der Einatmung Brustkorb und Schultern angehoben werden müssen. Das Ausatmen geschieht oft stoßweise oder seufzerähnlich, weil die erzeugte Spannung plötzlich nachlässt. Soll währenddessen phoniert werden, ist der Atemdruck auf den Kehlkopf immens: Das Zwerchfell ist inaktiv, sodass eine

Atemstromdosierung kaum möglich ist. Die Luft wird unterhalb der Glottis gestaut, die Stimmlippen müssen den Atemstrom regulieren und dabei sozusagen dem Gewicht von Brustkorb und Schultern standhalten. Die Folge ist in der Regel ein gepress-ter (die Stimmlippen schließen fest) oder stark verhauchter (die Kraft in den Stimmlippen gibt nach) Stimmklang. Die Phonationsdauer ist verkürzt, die Resonanzbildung erschwert.

- **Funktionelle Atemstörungen können als begleitende Ursache einer Stimmstörung auftreten.**

2.2.3 Die Primärfunktion des Vokaltraktes (Ansatzrohrs)

Nahrungsaufnahme

Die Nahrung wird über den Mund aufgenommen, in der Mundhöhle beginnt der Verdauungsprozess. Durch Bewegungen des Unterkiefers (Kauen) und Zungenbewegungen wird die Nahrung zerkleinert, ein sog. Bolus geformt und dieser in den Schlund (Pharynx) weitertransportiert. Mit der Sekretion von Speichel beginnt die Zersetzung der Nahrung im Mundraum. Über die Sinneszellen auf dem Zungenrücken werden Geschmacksempfindungen an das Zentralnervensystem weitergeleitet. Das Geruchsorgan sitzt in den Schleimhäuten der Nase.

Beim Schluckakt werden durch Anhebung des Gaumensegels Mund- und Nasenhöhle getrennt, damit keine Nahrung in die Nase eindringt.

Atmungsorgan

Bei der Leistungs- und Sprechatmung bilden Mund- und Nasenhöhlen den obersten Abschnitt der Atemwege.

- **In Ruhe erfolgt die Atmung normalerweise ausschließlich durch die Nase. Die Nasenschleimhaut dient der Reinigung, Befeuchtung und Erwärmung der Atemluft.**

Fazit

- Die zentrale Steuerung der Atmung erfolgt aus dem Atemzentrum im Hirnstamm.

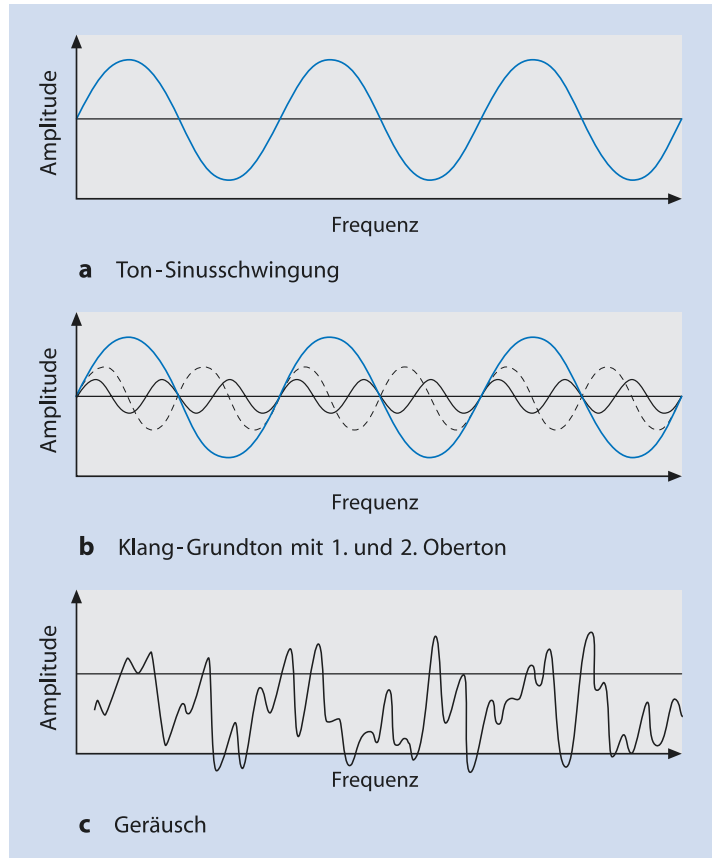
- Die Kombination von Brust- und Bauchatmung gilt als physiologisch.
- Das Atemzugvolumen beschreibt die Menge an Luft, die ein Erwachsener in Ruhe ein- und ausatmet.
- Funktionelle Atemstörungen können im Rahmen einer Stimmstörung auftreten. Sie können Ursache einer Stimmerkrankung sein.
- Der Kehlkopf dient ursprünglich und primär dem Schutz der Lungen vor dem Eindringen von Fremdkörpern.
- Er stabilisiert den Brustkorb sowie den Schultergürtel für unterschiedliche Körperfunktionen.
- Die Phonationsfunktion entwickelte sich sekundär.
- Eine Aktivität der expiratorischen Muskulatur korrespondiert mit Taschenfaltenaktivität, eine Aktivierung der inspiratorischen Muskulatur mit Stimmlippenaktivität.
- Die zentrale Steuerung der Atmung erfolgt aus dem Atemzentrum im Hirnstamm.
- Die Kombination von Brust- und Bauchatmung gilt als physiologisch.
- Das Atemzugvolumen beschreibt die Menge an Luft, die ein Erwachsener in Ruhe ein- und ausatmet.
- Funktionelle Atemstörungen können im Rahmen einer Stimmstörung auftreten. Sie können Ursache einer Stimmerkrankung sein.
- Die Primärfunktion des Vokaltraktes besteht in der Nahrungsaufnahme und dient als oberster Abschnitt der Atmungsorgane dem Gastransport.

2.3 Akustische Grundlagen

Das Resultat der Stimmgebung, der Stimmklang, ist physikalisch betrachtet ein Schallereignis. Das heißt, dass durch die Schwingung der Stimmlippen Luftteilchen in eine wellenförmige Bewegung versetzt werden, die vom Gehör als Schallempfindung aufgenommen wird.

Schall Schall breitet sich, von einer **Schallquelle** ausgehend, in Luft, anderen Gasen oder auch Flüssigkeiten oder Festkörpern aus. Die Schallquelle erzeugt einen Druck auf das entsprechende Medium

■ **Abb. 2.8a–c** Formen von Schall (zur Vereinfachung als eindimensionale Schwingungen dargestellt)



(im Normalfall Luft). Diese Luftdruckveränderung bewirkt eine Bewegung der Luftteilchen, sie breitet sich in Form von Wellen, den sog. **Schallwellen**, aus (■ **Abb. 2.8**).

Ton Die „einfachste“ Form von Schall ist der Ton. Dabei wird von der Schallquelle eine einzige, sich pendelartig (periodisch) fortsetzende Schwingung erzeugt, der **Sinuston**. Charakterisiert wird ein Ton anhand seiner **Frequenz**, d. h. der Anzahl von Schwingungen pro Zeiteinheit, sowie der **Amplitude**, der Auslenkung der Schallwelle. Die Frequenz bestimmt dabei die Tonhöhe, die Amplitude die Lautstärke. Reine Töne kommen in der Natur nicht vor. Ein Sinuston ist beispielsweise beim Testbild des Fernsehers oder als Freizeichen am Telefon zu hören.

„Ton“ für den Klang einer bestimmten Grundfrequenz gebraucht.

Klang Ein Klang setzt sich aus mehreren periodischen Schwingungen zusammen: Einem **Grundton** und weiteren Teiltönen (**Obertönen**), deren Frequenzen ganzzahlige Vielfache des Grundtons sind und die so **harmonisch miteinander schwingen**. Die meisten Musikinstrumente erzeugen Klänge, ebenso das menschliche Stimmorgan.

Geräusch Das Geräusch besteht aus nichtperiodischen Schwingungsvorgängen. Die Grundfrequenz eines Geräusches ist meist nicht definier- oder messbar.

Resonanz Die Resonanz entsteht im sog. **Resonator** (Klangraum), d. h. in einem schwingungsfähigen Gebilde. Bei der Gitarre beispielsweise ist

➤ **Abweichend von der physikalischen Bezeichnung wird in der Musik der Begriff**

der Korpus der Resonator (Resonanzkörper). Ein Resonator kann von außen, durch eine Schallquelle, zum Mitschwingen angeregt werden. Die im Resonator befindlichen Luftteile werden dabei in Schwingung versetzt. Jeder Klangraum kann aufgrund seiner Eigenschaften (Form, Größe, Material) nur in bestimmten Frequenzen schwingen. Diese werden als **Eigenfrequenz** des Resonators bezeichnet. Wird von einer Schallquelle ein Primärklang mit den entsprechenden Teiltönen ausgesendet, kann der Resonator nur die Frequenzen der Teiltöne verstärken, die seinen Eigenfrequenzen entsprechen. Die anderen Teiltöne werden – je nach Beschaffenheit des Resonators – mehr oder minder gedämpft.

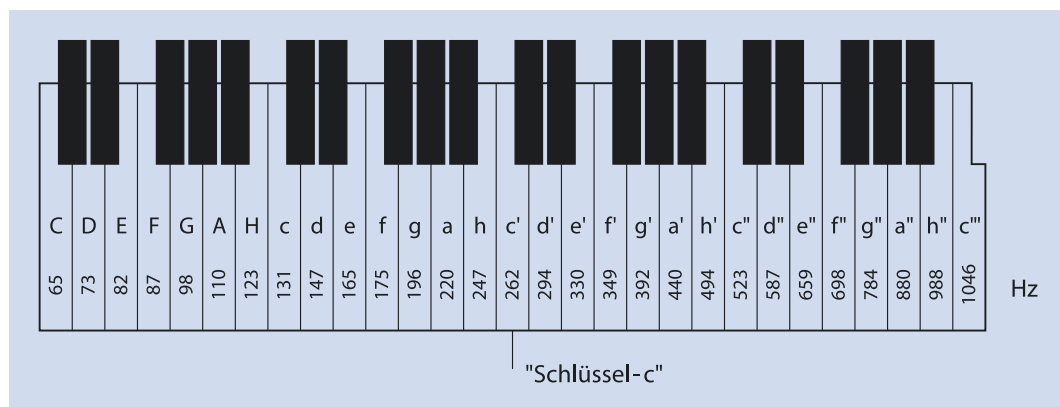
- **Resonanz bedeutet die Filterung, Verstärkung und Dämpfung des von der Schallquelle erzeugten Klangspektrums.**

Tonhöhe (Frequenz) Die Höhe eines Tones (Tonlage) ergibt sich aus der Anzahl der Schwingungen, d. h. der Schallwellen pro Zeiteinheit. Gemessen wird Schall in Schwingungen pro Sekunde. Die Einheit, in der die Frequenz eines Tones angegeben wird, ist **Hertz (Hz)**. Ein Ton, der beispielsweise 440-mal pro Sekunde schwingt, besitzt die Frequenz von 440 Hz. In der Musik werden Tonhöhen anhand von Buchstabenreihen dargestellt. Dabei entspricht die Schwingung von 440 Hz dem Kammerton a¹ (■ Abb. 2.9).

Lautstärke Die Lautstärke ist abhängig von der Höhe des Druckes, der auf das schwingende Medium ausgeübt wird. Er wird als Schalldruck bezeichnet und in der Einheit **dezi Bel (dB)** angegeben. (Umgangssprache erfolgt bei einem Schalldruckpegel von etwa 70 dB.)

Obertöne und Formanten Wird ein Klang erzeugt, schwingt immer eine gewisse Zahl von Obertönen mit. Die Frequenzen der Obertöne befinden sich in einem ganzzahligen Verhältnis zur Frequenz des Grundtons. Beträgt der Grundton beispielsweise 64 Hz, liegt der erste Oberton bei 128 Hz, der zweite bei 192 Hz, der dritte bei 256 Hz usw. Die Schwingungsqualität der Schallquelle und die Höhe der Grundfrequenz entscheiden darüber, wie viele Teiltöne entstehen. (Je tiefer die Grundfrequenz, desto mehr Teiltöne können entstehen.) Der Resonator verstärkt entsprechend seiner Eigenresonanz einzelne der Obertöne, andere werden gedämpft.

- **Die Schwingungsfrequenz des Grundtons entscheidet über die Tonlage des Klanges. Über die Lautstärke eines Klanges entscheidet die Amplitude (Auslenkung) der Schallwelle. Verstärkte Teiltöne werden als Formanten bezeichnet. Die Anzahl der Teiltöne, die Lage der Formanten und der Grad an Verstärkung und Dämpfung der Teiltöne entscheiden über die Klangfarbe eines Instrumentes oder einer Stimme.**



■ Abb. 2.9 Tastaturabbildung: Tonhöhe und Frequenz

Fazit

- Die Stimme ist, physikalisch betrachtet, ein Klang. Sie besteht also aus einem Grundton und mehreren Obertönen.
- Die Obertöne werden im Ansatzrohr, dem Resonator, verstärkt und gedämpft.
- Die verstärkten Obertöne werden als Formanten bezeichnet.
- Die Lage und die Intensität einzelner Formanten entscheiden über die Klangfarbe einer Stimme.
- Die Stimmlage (Tonhöhe) ergibt sich aus der Frequenz der Grundschiwingung, die Lautstärke aus der Intensität des Schalldrucks.

2.4 Physiologie der Stimmgebung

Eine gesunde Stimmfunktion setzt eine optimale Funktion und ein optimales Zusammenspiel der beteiligten Organsysteme voraus. Da es sich bei der Stimmfunktion im eigentlichen Sinne um eine Muskelfunktion handelt, ist ein hohes Maß an Koordination und Feinabstimmung der Muskulatur von Atemapparat, Kehlkopf und Ansatzrohr erforderlich. „Die Definition für die korrekte Stimmfunktion ist: Die Funktion hat die größte Effizienz, wenn durch die richtige Muskelzusammenarbeit unter minimaler Spannung und minimalem Energieverbrauch die optimale Leistung erzielt wird“ (Rabine 1989, S. 59).

2.4.1 Stimmlippenschwingung

Die Schwingung der Stimmlippen entsteht durch das Zusammenwirken von Atemapparat und Kehlkopf. Während der Atmung ist die Glottis geöffnet (Respirationsstellung). Für die Stimmfunktion schließt sich jedoch die Glottis nach der Einatmung (Phonationsstellung). Die Phonation (Stimmgebung) erfolgt dann während der Ausatmung. Die aneinanderliegenden Stimmlippen werden durch den Ausatemstrom in Schwingung versetzt. Diese entsteht aus dem Zusammenspiel **aerodynamischer** und **myoelastischer** Kräfte.

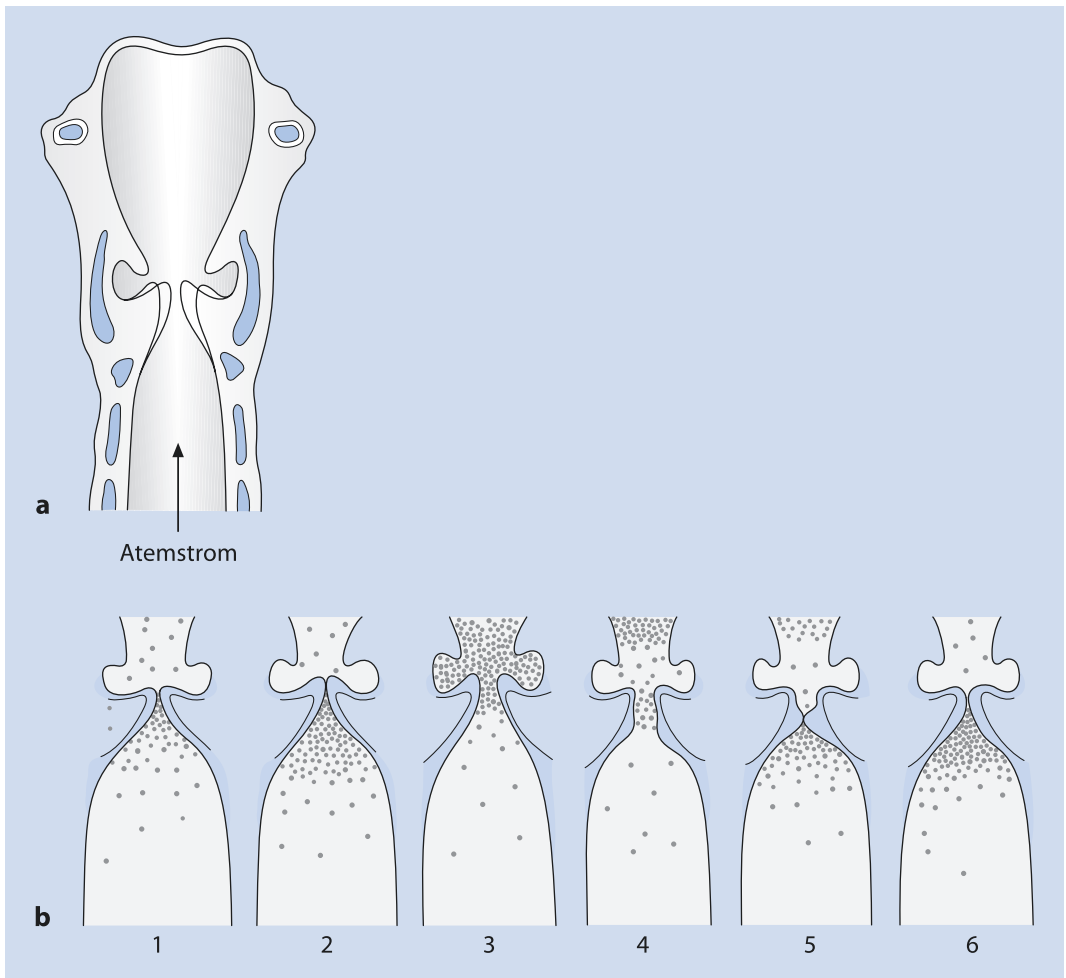
Aerodynamische Schwingungstheorie Durch die Einatmung entsteht ein Überdruck in den Lungen

und den Atemwegen. Schließt die Glottis nach der Einatmung, wird von unten (je nach Ausmaß des Erhalts inspiratorischer Kräfte) Druck auf die Glottis ausgeübt. Erreicht dieser subglottische Druck einen bestimmten Wert, werden die Stimmlippen auseinander gedrückt („gesprengt“) und die Luft strömt impulsartig durch die Glottis. Die Stimmlippen bilden eine Engstelle, welche die aus der Luftröhre aufsteigenden Luftteilchen passieren müssen. Die Strömungsgeschwindigkeit der Luftteilchen nimmt an dieser Engstelle zu, dadurch wird ein Unterdruck zwischen den Stimmlippen erzeugt. Dieser Unterdruck sorgt dafür, dass die eben gesprengten Stimmlippen wieder zusammengesogen werden. Dieser Vorgang basiert auf dem **Bernoulli-Effekt** oder dem **aerodynamischen Gesetz** (■ Abb. 2.10).

Myoelastische Schwingungstheorie Auch die **Elastizität** der Stimmlippen und die Kräfte der Kehlkopfmuskeln sorgen dafür, dass nach erfolgter Sprengung die Glottis wieder geschlossen und so der Ausgangszustand wiederhergestellt wird. Diese Abläufe wiederholen sich abhängig von subglottischem Druck und Stimmlippenspannung und erzeugen so die Stimmlippenschwingungen.

➤ **Eine Phase des Schwingungsvorgangs wiederholt sich bei der Phonation mit der Frequenz des Grundtons. Zum Beispiel wird beim Kammerton a der Schwingungsvorgang 440 Mal pro Sekunde wiederholt (440 Hz).**

Dreidimensionaler Schwingungsablauf Die Schwingungsbewegung der Stimmlippen erfolgt dreidimensional: Die Öffnung der Glottis erfolgt einerseits mit einer Bewegung der Stimmlippen zur Seite (**horizontal**). Diese Bewegung beginnt in der unteren Hälfte der Stimmlippe und setzt sich nach oben fort. Andererseits verschmälern sich zeitgleich die Stimmlippenränder und werden etwas nach oben geschoben (**vertikal**). Betrachtet man die Stimmlippen von oben, beginnt die Öffnung im hinteren und manchmal zusätzlich im vorderen Bereich (Nawka und Wirth 2008). Außerdem verschiebt sich die Schleimhaut über dem äußeren Rand der Stimmlippen. Diese Bewegung wird als **Randkantenverschiebung** bezeichnet (■ Abb. 2.11).



■ **Abb. 2.10a,b** Stimmlippschwingung und Strömungsverhältnisse der Luftteilchen.

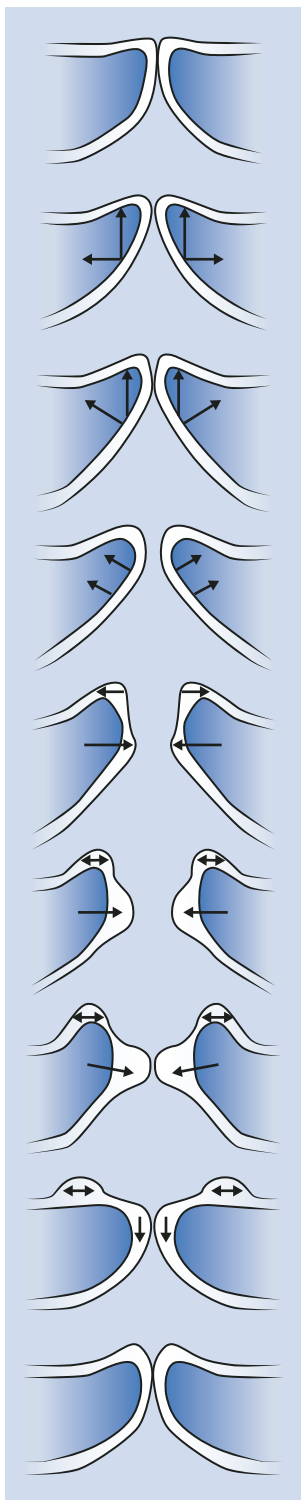
a Grundbewegung. b Schleimhautwelle und Entstehung periodischer Luftdruckschwankungen: 1+2 subglottischer Druckanstieg bei geschlossener Glottis; die Schleimhaut wird nach oben gedrängt; 3+4 Öffnung der Glottis und subglottischer Druckabfall; Bildung einer subglottischen Schleimhautfalte; 5+6 Glottisschluss primär im Bereich der subglottischen Stimmlippschleimhaut durch myoelastische und aerodynamische Kräfte. (Aus Friedrich und Biegenzahn 1995; Friedrich et al. 2013; mit freundlicher Genehmigung)

Die schwingenden Stimmlippen versetzen die umgebenden Luftteilchen in Bewegung. Der sich wiederholende Schwingungsablauf sorgt für einen periodischen Bewegungsimpuls; auf diese Weise entstehen Schallwellen.

2.4.2 Stimmatmung

Die **Dauer der Ausatmung** verlängert sich **beim Sprechen** und kann im Verhältnis zur Einatmung

das bis zu 8-Fache betragen. **Beim Singen** kann das Verhältnis von Ein- und Ausatmung 1:50 betragen. Diese Verlängerung der Ausatmung erfordert eine **feine Luftstromdosierung**, die durch eine langsame Spannungsabnahme der Einatemmuskulatur erreicht wird. Die Ausatemmuskulatur erhöht darauf abgestimmt langsam ihre Spannung, um trotz des sinkenden Lungenvolumens einen gleichbleibenden Anblasedruck und damit eine gleichmäßige Tongebung zu gewährleisten. Die Luftstromdosierung mittels der Zwischenrippenmuskeln wird



■ Abb. 2.11 Dreidimensionaler Schwingungsablauf der Stimmlippen

dabei durch das Gewicht des Brustkorbs, der auf die Lungen drückt, erschwert. Eine feinere Dosierung der Luftabgabe wird über das Zwerchfell bewirkt.

- Die Kräfte, die während der Ausatmung wirksam sind, um eine allmähliche Spannungsabnahme zu ermöglichen und die Einatmungstendenz aufrechtzuerhalten, werden als **inspiratorische Gegenspannung oder Stützfunktion** bezeichnet. Beteiligt sind dabei sämtliche beim Atemvorgang wirksame Muskeln.
- ❗ In einigen Stimm- und Gesangstechniken wird eine Stützfunktion antrainiert, bei der einerseits der Brustkorb während der gesamten Phonation in größtmöglicher Weitstellung gehalten wird, andererseits die Bauchmuskulatur aktiv kontrahiert wird (Bauchpresse). Diese Übertreibung der physiologischen Stützfunktion führt zu Verspannungen der Oberkörpermuskulatur und des Stimmapparates, die sich auf Dauer negativ auf die Stimmgebung auswirken.

Physiologische Phonationsatmung Das Zusammenwirken von Atemfluss und Stimmlippenschwingung ist dann optimal, wenn die Glottis auf ganzer Länge geschlossen ist. Nur dann ist es möglich, den gesamten Atemstrom in Schwingung, also in Klang umzuwandeln. Dies erfordert eine **präzise Angleichung von glottischem Widerstand und Atemdruck**.

- Ist der glottische Widerstand **zu gering**, besteht ein unvollständiger Glottisschluss. Es entweicht sog. „wilde Luft“, die als Geräuschanteil in Form von Hauch im Stimmklang hörbar ist. Damit ist der Luftverbrauch für das gewünschte Klangresultat erhöht, es wird insgesamt mehr Kraft zur Stimmgebung verbraucht.
- Bei **zu hohem** glottischen Widerstand entsteht aufgrund der eingeschränkten Flexibilität der Stimmlippen ein unregelmäßiger Schwingungsablauf. Die Stimme wird knarrend und verliert an Tragfähigkeit.

- Auch für die Stimmgebung gilt die **kombinierte Aktivität von Zwischenrippen- und Zwerchfellmuskulatur, die kostoabdominale Atmung, als physiologisch**.

Auswirkungen von Atemstörungen auf die Stimme

Bei Störungen der Sprechatmung wie Schnappatmung, Hochatmung oder Abweichungen von der Atemmittellage hat in erster Linie der **veränderte Atemdruck** Auswirkungen auf die Kehlkopffunktion.

- Die Stimmlippen müssen sich entweder dem erhöhten Atemdruck anpassen, die Kehlkopfspannung wird dann unphysiologisch erhöht.
- Oder die Stimmlippen halten dem Atemdruck nicht stand, sie schließen nicht mehr vollständig, und es entweicht ein Großteil der Atemluft ungenutzt. Auch ergibt sich wegen der funktionellen Verbindung zwischen Kehlkopf und Zwerchfell ein pathologischer Kehlkopfhochstand, wenn das Zwerchfell, vor allem bei der Hochatmung (► Abschn. 2.2.2) nicht entspannen kann.

Eine pathologische Atemveränderung kann zu allgemeinen Tonusveränderungen führen, die wiederum Einfluss auf die Kehlkopffunktion nehmen.

2.4.3 Resonanzbildung

Phonatorische Funktion des Ansatzrohrs Bei der Stimmgebung erfüllt das Ansatzrohr die Funktion des Resonators, d. h., dass hier das Spektrum des primären Kehlkopfklangs gefiltert und verstärkt wird (phonatorische Funktion des Ansatzrohrs). Durch die Schwingung der Stimmlippen entsteht ein Klangspektrum aus Grundton und Obertönen, deren Anzahl und Amplituden je nach Schwingungsqualität variieren.

- **Der Grundton ergibt sich aus der Frequenz der Grobschwingung der gesamten Stimmlippe. Obertöne werden durch Bewegungen des Stimmlippenrandes, der Randkantenverschiebung, und durch Luftverwirbelungen erzeugt.**

Der Primärklang breitet sich im Ansatzrohr aus. Als Resonator besitzt das Ansatzrohr die Fähigkeit, selbst in bestimmten Frequenzen (seinen Eigenfrequenzen) mitzuschwingen.

Formantbildung Die Obertöne des Primärklangs, die den Eigenfrequenzen des Ansatzrohrs entsprechen, werden verstärkt (Formantbildung) (► Abschn. 2.3, siehe auch ► Exkurs „Obertonsingen“).

Exkurs

Obertonsingen

Das Obertonsingen basiert auf dem Effekt der Formantbildung. Dabei wird während des Singens eines Tones das Ansatzrohr derart geformt, dass nur noch jeweils einzelne Obertöne verstärkt werden. Zu hören ist dann der Grundton und ein darüber liegender Ton, dessen Klang an eine Pfeife oder Flöte erinnert.

Die anderen Obertöne werden gedämpft oder vollständig ausgelöscht. Auf diese Weise entsteht eine spezifische Klangfärbung, die von der **individuellen Beschaffenheit** des Ansatzrohrs abhängt. Eine wesentliche Rolle spielen dabei die Größenverhältnisse, aber auch der Spannungszustand der Muskeln, die die Reflexionseigenschaften der Wandungen des Ansatzrohrs beeinflussen.

- **Grundsätzlich lässt sich sagen, dass umso mehr Resonanz entsteht, je größer der Resonanzraum ist. Das bedeutet, dass eine Weitung des Ansatzrohrs die Resonanzentwicklung günstig beeinflusst. Übungen zur Weitung des Ansatzrohrs können in (► Abschn. 9.3) nachgelesen werden.**

Brust- und Kopfresonanz

Bei der Stimmresonanz wird zwischen Kopf- und Brustresonanz unterschieden. Neben der Luft im Ansatzrohr kann auch das umliegende Gewebe, beispielsweise Knochen und Muskulatur, in Schwingung versetzt werden. Diese Schwingung ist als Vibration spürbar. Während bei der Kopfresonanz die Vibrationen im Bereich des Kopfes bleiben, kann sich die Brustresonanz vom Brustkorb bis in den Bauch- und Beckenraum ausdehnen. Auch wenn es zu Resonanzbildung in weiteren Rumpfbereichen kommen kann (sog. Körperresonanz), wird hier der Begriff „Brustresonanz“ als Abgrenzung zur Kopfresonanz beibehalten. Für die Entstehung der Resonanzen ist

überwiegend die Qualität der Stimmlippenschwingung verantwortlich, aber auch die Konfiguration des Ansatzrohrs und der Tonus der Körpermuskulatur (► Abschn. 2.2).

- **Brustresonanzen** entstehen hauptsächlich bei der Schwingung der gesamten Stimmlippenmasse sowie bei Schwingungen niedriger Frequenzen (tiefe Töne). **Eine Entspannung der Rumpfmuskulatur fördert die Ausbreitung der Vibration.**
- **Kopfesonanzen** entstehen ebenfalls bei der Schwingung der gesamten Stimmlippen, aber auch, wenn nur der Stimmlippenrand schwingt. Kopfesonanzen überwiegen bei hohen Schwingungsfrequenzen (hohe Töne). Die Ausdehnung beider Resonanzbereiche hängt von dem Klangvolumen ab, das im Ansatzrohr erzeugt wird.

➤ **Brustresonanz macht sich klanglich als Tragfähigkeit und Volumen der Grundfrequenzen bemerkbar. Die Kopfesonanz beschreibt die hellen Anteile des Stimmklangs, also das Spektrum der Obertöne. In der Stimmtherapie und in der Stimmbildung werden die Begriffe Kopf-, Brust- und Körperresonanz für die spürbar werdenden Vibrationen in den benannten Körperbereichen verwendet. Es handelt sich dabei im akustisch-physikalischen Sinne jedoch nicht um Resonanz. Diese entsteht nur im Ansatzrohr.**

Stimmtimbre

Mit dem Begriff „Timbre“ wird der individuelle Klang einer Stimme beschrieben, vergleichbar mit dem typischen Klang einzelner Instrumente. Der akustische Eindruck einer Stimme ist bezüglich seiner Einzigartigkeit mit einem Fingerabdruck vergleichbar.

Primär verantwortlich für das Stimmtimbre ist die **Form des Ansatzrohrs**. Geringe Unterschiede in Größe, Form und Beschaffenheit der Wandungen führen zu unterschiedlichen Ausprägungen von Grund- und Teiltönen und zu einer

unterschiedlichen Lage der Formanten. So, wie sich die Gesichtszüge jedes einzelnen Menschen von denen anderer unterscheiden, besitzt jede Person ein individuelles Stimmtimbre.

Sekundär beteiligt an der Bildung des Timbres sind auch die **Beschaffenheit von Kehlkopf und Atemapparat. Alters- und geschlechtsspezifische Merkmale** tragen zum Gesamteindruck des Stimmtimbres bei.

Neben diesen anatomisch festgelegten und unveränderbaren Einflüssen auf die Stimme wirken sich auch **Persönlichkeitsmerkmale** auf den Stimmklang aus, beispielsweise Charakter und Mentalität. Die **Nachahmung** stimmlicher Vorbilder und **dialektale Einflüsse** spielen ebenfalls eine Rolle (► Abschn. 2.3).

2.4.4 Stimmleistungen

Tonhöhe

Die **Veränderung der Länge** und des **Spannungszustandes der Stimmlippen** bewirkt die Tonhöhenregulierung des Grundtons. Bei hohen Tönen werden die Stimmlippen verlängert, die Spannung nimmt zu. Gleichzeitig reduziert sich die schwingende Masse, d. h., die Stimmlippen werden schmaler. Die Spannungszunahme der Stimmlippen erfordert einen erhöhten Anblasedruck, d. h., die Geschwindigkeit des Ausatemstroms nimmt zu. Eine Verlängerung der Stimmlippen erfolgt überwiegend durch die Aktivität des **M. cricothyroideus**. Über die Verlängerung wird gleichzeitig eine Spannungszunahme erreicht, die durch die isometrische Muskelaktion des **M. vocalis** verstärkt wird. Mit steigender Tonhöhe nimmt die Amplitude der Stimmlippenschwingung ab, die Frequenz nimmt zu. (Die einzelnen Parameter zur Entstehung von Tonhöhe und Lautstärke sind in ► Tab. 2.3 als Übersicht dargestellt.)

Von der Frequenz der Stimmlippenschwingung hängt die Frequenz der erzeugten Schallwelle ab.

Das Spektrum der Grundfrequenzen der menschlichen Stimme bewegt sich zwischen etwa 50 und 2500 Hz. (ca. G^1 – e^4).

■ Tab. 2.3 Parametervergleich bei Tonhöhe und Lautstärke

Hoher Ton	Tiefer Ton	Lauter Ton	Leiser Ton
Hohe Schwingungs- frequenz	Niedrige Schwingungs- frequenz		
Amplitude verkleinert	Amplitude vergrößert	Große Amplitude	Kleine Amplitude
Luftstromstärke erhöht	Luftstromstärke verringert	Hohe Luftstromstärke	Geringe Luftstromstärke
Stimm lippen lang, dünn	Stimm lippen kurz, dick	Stimm lippen dick	Stimm lippen dünn
Spannung der Stimm lippen hoch	Spannung der Stimm lippen gering	Spannung der Stimm lippen hoch	Spannung der Stimm lippen gering
Erhöhte mediale Kompression	Verringerte mediale Kom- pression	Hohe mediale Kompression	Geringe mediale Kom- pression

➤ Während bei tieferen Tönen eine Schwingung der gesamten Stimmlippe stattfindet, geht das Schwingungsverhalten bei Erhöhung der Tonlage in eine Schwingung des Stimmlippenrandes über. Bei ganz hohen Tönen schwingt lediglich die Schleimhaut.

bis zu einem Umfang von 40–126 dB (Nawka und Wirth 2008).

Damit durch die Erhöhung der Luftstromstärke bei zunehmender Lautstärke nicht gleichzeitig eine Erhöhung der Stimmlage erfolgt, müssen Anspannung der Stimmlippen sowie der glottische Widerstand durch entsprechende Muskeltätigkeit ausgeglichen werden.

Lautstärke

Die Erhöhung der Lautstärke (Dynamik) wird überwiegend durch **Verstärkung des Anblasedrucks und Erhöhung der Atemstromgeschwindigkeit** erreicht. Ein erhöhter Anblasedruck bedarf eines erhöhten glottischen Widerstandes, d. h., die mediale Kompression (Schließkraft der Stimmlippen) und der Spannungszustand der Stimmlippen müssen verstärkt werden (Rabine und Jacoby 1989). Mit der Erhöhung des Anblasedrucks vergrößert sich die Schwingungsamplitude. Die Größe der Amplitude entscheidet über den erzeugten Schalldruck.

Die Zunahme der Lautstärke erfordert zudem eine dickere Stimmlippe, die durch eine verstärkte isometrische Spannung des M. vocalis zustande kommt. Im Wesentlichen beteiligt an der Erzeugung des glottischen Widerstandes sind die **Mm. lateralis und transversus** und der **M. vocalis**. Einen weiteren Beitrag zur Stimmstärke leistet das Ansatzrohr, da hier je nach Einstellung Frequenzanteile durch Resonanz verstärkt oder vermindert werden. Über den Lautstärkeumfang der menschlichen Stimme existieren in der Literatur unterschiedliche Zahlen. Diese reichen von einem durchschnittlichen Lautstärkeumfang von 50–110 dB (Friedrich et al. 2013)

Phonationsdauer

Die Phonationsdauer bezieht sich auf die **zeitliche Länge der Stimmgebung pro Atemzug**. Gemessen werden kann die maximale Phonationsdauer (MPD) oder MPT (= „maximal phonation time“, Böhme 2015) beispielsweise beim Halten eines Tones (Tonhaltedauer) oder durch die Anzahl gesprochener Silben (► Abschn. 7.2.2). Die Phonationsdauer hängt im Wesentlichen von der Dosierung des Luftstroms ab. Möglichst wenig Luft sollte in möglichst viel Schwingung umgesetzt werden. Dies wird erreicht durch einen geringen glottischen Widerstand (geringe Muskelaktivität) bei vollständigem Glottisschluss. Der Anblasedruck ist gering zu halten. Auch die Menge der eingeatmeten Luft entscheidet über die Länge des abgegebenen Klanges.

❗ Bei forcierter Einatmung kann der Überdruck in den Lungen so stark werden, dass die Dosierung des Luftstroms erschwert ist. Anblasedruck und glottischer Widerstand erhöhen sich, sodass bei der Tonproduktion mehr Luft verbraucht wird. Die Tonhaltedauer verkürzt sich dann.

- **Als durchschnittliche Werte gelten bei der Tonhaldedauer für weibliche Stimmen 17 s, für männliche 25 s.**

Stimmeinsätze

Zu Beginn der Phonation werden die Stimmlippen auf die beabsichtigte Stimmqualität – laut/leise, hoch/tief – und auf die Art des Stimmeinsatzes eingestellt. Erst dann erfolgt die Luftabgabe aus den Lungen mit dem erforderlichen Anblasedruck. Möglich sind **drei Formen des physiologischen Stimmeinsatzes**: Der harte, der behauchte und der weiche Stimmeinsatz.

- Beim **harten Stimmeinsatz** (bei Vokal im Anlaut) erzeugt die Atemluft von unten einen Druck auf die Glottis, die mit Beginn der Stimmgebung gesprengt wird.
- Beim **behauchten Stimmeinsatz** (Vorstellung des Lautes /h/) strömt zunächst Luft durch die noch geöffneten Stimmlippen, die allmählich im Luftstrom zu schwingen beginnen.
- Der **weiche Stimmeinsatz** entsteht, nachdem die Stimmlippen leicht aneinanderliegen. Der Atemstrom beginnt allmählich, die Schwingung der Stimmlippen steigert sich gleichmäßig mit Zunahme des Atemdrucks. Zu weichen Stimmeinsätzen kommt es beispielsweise bei den Lauten /m/ oder /l/.

Stimmsitz (Stimmansatz)

Eine Stimme kann vorne, in der Mitte oder hinten „sitzen“. Beschrieben wird damit ein Höreindruck oder auch ein Vibrationsempfinden der eigenen Stimme. Im Wesentlichen verantwortlich für den Stimmsitz sind die Verhältnisse im Ansatzrohr. Der **vordere Stimmsitz** ist erwünscht und wird begünstigt durch eine präzise Artikulation und die entsprechende Weite im Ansatzrohr, insbesondere der Kieferöffnung. Sitzt die Stimme vorne, ist sie im Allgemeinen tragfähiger, resonanzreicher und klingt heller. Das Sprechen im Brustregister unterstützt die Vorverlagerung des Stimmsitzes. Bei Verspannungen im Ansatzrohr, insbesondere im Bereich des Zungengrundes und des Mundbodens kommt es zu einem **rückverlagerten Stimmsitz**. Die Stimme klingt dabei

oftmals knödelnd und wenig resonanzreich, da die spannungsbedingten Veränderungen im Ansatzrohr eine optimale Resonanzbildung behindern.

- **Eine nachlässige Artikulation und eine Enge im Mundraum führen zur Rückverlagerung des Stimmsitzes, auch das Sprechen im Kopfreger. Als physiologisch gelten vorderer und mittlerer Stimmsitz.**

Stimmregister

Die menschliche Stimme wird anhand akustischer und physikalischer Aspekte in Register unterteilt. Ein Stimmregister ist nach der Definition von Garcia eine „Tonreihe gleicher Klangqualität, die auf gleiche Weise hervorgebracht wird“ (Garcia 1840). Während die Begriffe Brust- und Kopfresonanz Klanganteile beschreiben (Ausbreitung der Grundfrequenz bzw. der Obertöne im Körper), sind das Brust- und das Kopfreger durch die Form der Stimmlippen-schwingung definiert: Im Brustregister findet eine Vollschiwingung der gesamten Stimmlippe statt, im Kopfreger schwingt lediglich der Randbereich.

Brustregister Das für die Sprechstimme bedeutendste Register ist das Brustregister. Im Brustregister erfolgt auf Stimmlippenebene eine Vollschiwingung, d. h., die gesamte Stimmlippe (Muskel, Ligament und Schleimhaut) wird in Schwingung versetzt. Die Stimmlippen schwingen dreidimensional und mit großer Amplitude. Muskelaktivität liegt überwiegend im **M. vocalis** vor, die Aktivität des **M. cricothyroideus** ist stark bis gering. Nach akustischen Gesichtspunkten klingt die Stimme resonanzreich, tragfähig, voll und mit Brust- und Kopfresonanz. Im Brustregister erfolgt die physiologisch optimale Form der Stimmgebung.

- **Die gesunde Sprechstimme bewegt sich ausschließlich im Brustregister, sowohl bei der männlichen als auch bei der weiblichen Stimme.**

Kopfreger Das Kopfreger grenzt oberhalb an das Brustregister. Im Kopfreger schwingt nur der äußere Rand der Stimmlippe, das Stimm-band, auch **Randschiwingung** genannt. Die Schwingungsbewegung erfolgt hauptsächlich vertikal

und mit geringer Amplitude. Die Aktivität des M. cricothyreoideus überwiegt. Die Stimmlippen selbst sind verlängert und stärker gespannt, sodass durch normalen Anblasedruck nur die Stimmlippenränder in Schwingung versetzt werden können. Die Kopfstimme klingt hell und mit überwiegend Kopfresonanz. Die reine Kopfstimme sollte nur im Gesang eingesetzt werden.

Mittelregister Häufig wird ein sog. Mittel- oder Zwischenregister beschrieben, das zwischen Kopf- und Bruststimme liegt. Dabei handelt es sich um eine Abfolge von Tönen, die **beide Stimmqualitäten** enthalten. Die Vollschrwingung der Stimmlippen nimmt langsam ab, der Übergang zur reinen Randschrwingung ist fließend. Der Registerausgleich findet also über mehrere Töne hinweg statt, ein eindeutiger Registerwechsel ist nicht hörbar. Das Mittelregister findet sich überwiegend bei ausgebildeten Stimmen.

Falsett und Pfeifregister Falsett und Pfeifregister liegen oberhalb des Kopfregisters. Im Falsett schwingt der Stimmlippenrand nur noch sehr schwach und unregelmäßig, im Pfeifregister erfolgt keine Schwingungsbewegung mehr. Hier entsteht der Ton mittels Luftverwirbelungen, ähnlich dem Pfeifen mit den Mundlippen. Die Stimmlippen sind lang und extrem gespannt.

Strohbasregister Unterhalb der Bruststimme liegt das Strohbasregister, auch „vocal fry“ genannt. Hier wird durch unregelmäßige Schwingungen auf Stimmlippenebene ein niederfrequentes Knarrgeräusch erzeugt, dessen Grundfrequenz schwer zu bestimmen ist.

2.4.5 Die Sprechstimme

Mittlere Sprechstimmlage

Das Sprechen findet im Bereich der sog. mittleren Sprechstimmlage (**MSSL**) statt. Sie beschreibt die Tonlage oder Tonhöhe, um welche die Stimme moduliert. Unterschieden wird gemeinhin zwischen der **gespannten** und der **ungespannten** mittleren Sprechstimmlage. Die Unterscheidung wird am deutlichsten anhand verschiedener Sprechsituationen: Die gespannte mittlere Sprechstimmlage

kommt beispielsweise beim Halten eines Vortrags zum Einsatz, die ungespannte in einer vertrauten und entspannten Gesprächssituation. Die ungespannte Sprechstimmlage liegt etwa 1/2–1 Halbtonschritt unterhalb der gespannten.

Indifferenzlage

Als Indifferenzlage wird die Tonlage bezeichnet, in der die Phonation mit geringstem Kraftaufwand möglich ist. Sie liegt etwa 2–3 Ganztonschritte oberhalb der unteren Grenze des Stimmumfangs. Die Indifferenzlage ergibt sich aus der Länge der Stimmlippen. Da die Stimmlippen des männlichen Kehlkopfes im Durchschnitt 0,5 cm länger sind als die des weiblichen, ist die Indifferenzlage der männlichen Stimme grundsätzlich tiefer. Die männliche Indifferenzlage liegt zwischen F und c, die weibliche eine Oktave höher, zwischen f und c¹.

Die Indifferenzlage ist sozusagen der **Sollwert** für die ungespannte Sprechstimmlage. Tatsächlich weichen diese Werte, besonders als Symptom einer Stimmstörung, oft voneinander ab.

➤ **Indifferenzlage und ungespannte mittlere Sprechstimmlage können nicht synonym gebraucht werden!**

Modulation

Die Sprechstimme wird im Wesentlichen durch **Veränderungen der Lautstärke und der Tonhöhe** moduliert. Die Lautstärke schwankt bei **Umgangssprache** um etwa 10 dB, der durchschnittliche Schalldruckpegel liegt bei ca. 70 dB. (Im Bereich der Sprechstimme sollte eine Ab- und Zunahme der Lautstärke von bis zu 30 dB möglich sein. Dabei liegt der leiseste Ton um 50 dB, der lauteste um 80 dB.) Die physiologische Sprechmelodie, also die Tonhöhenmodulation, bewegt sich 1/2–1 Oktave um die mittlere Sprechstimmlage.

2.4.6 Die gesunde Stimme

Die gute Stimme ist „frei von Nebengeräuschen, Druck, Dauer-, Fehl- und Überspannungen. Ihre Dynamik ist in jeder Höhe beliebig kräftig oder

leise, der Klang weit tragend, resonanzreich, weich und anstrengungslos“ (Nawka und Wirth 2008). Bei dieser Definition handelt es sich jedoch um das Ideal einer gesunden Stimme. Diese kann und muss nicht immer das Ziel einer Stimmtherapie sein. Vielmehr sollten das subjektive Empfinden des Patienten und die „Alltagstauglichkeit“ der Stimme die Zieldefinition bestimmen. Nicht immer ist dafür die Erfüllung aller oben genannten Stimmleistungen notwendig. Eine gesunde Stimme kann darüber hinaus anhand der in ► **Übersicht 2.4** dargestellten Parameter beurteilt werden.

Übersicht 2.4

Parameter der gesunden Stimme
Folgende Parameter definieren eine gesunde Sprechstimme:

- Indifferenzlage (von der Kehlkopfgröße abhängige physiologische Sprechstimmlage)
 - männlich: F–c
 - weiblich: f–c¹
- Schallpegel Umgangssprache: 70 dB
- Modulation der Sprechstimme: 1/2–1 Oktave, ± 20 dB

Folgende Parameter definieren eine gesunde Singstimme:

- Mögliches Frequenzspektrum: ca. 50–2500 Hz
- Mögliches Schalldruckspektrum: ca. 50–120 dB
- Physiologische Phonationsdauer: >15 s
- Physiologischer Stimmumfang: etwa 2 Oktaven
- Physiologischer Lautstärkeumfang: 55–90 dB

► **Dafür, dass eine Stimme als „schön“ empfunden wird, sind selten die Kriterien einer „gesunden“ Stimme ausschlaggebend. Die Schönheit einer Stimme wird überwiegend subjektiv und nach emotionalen Aspekten beurteilt. Dabei spielen der Kulturkreis und Modeerscheinungen eine Rolle, aber auch unsere Erfahrungswelt.**

So wird beispielsweise ein Stimmklang, mit dem ein positives Persönlichkeitsbild assoziiert wird, eher als schön empfunden als der Klang einer Stimme, der an schlechte Erfahrungen erinnert.

2.4.7 Die Singstimme

Stimmumfang

Das Singen erfordert einen größeren Tonhöhenumfang als das Sprechen. Bei der Messung des Stimmumfangs wird zwischen dem **physiologischen (absoluten)** und dem **musikalischen Stimmumfang** unterschieden. Der absolute Stimmumfang schließt alle produzierbaren Töne ein, der musikalische nur die für die Gesangsstimme verwertbaren Töne.

► **Der absolute Stimmumfang sollte mindestens 1,5 Oktaven (= 20 Halbtöne) umfassen.**

Beim Erwachsenen liegt der durchschnittliche Umfang der **Singstimme** bei etwa 2 Oktaven. Es gibt Stimmen, deren Umfang bis zu 4 Oktaven beträgt; das kommt allerdings selten vor. Die **ausgebildete Gesangsstimme** sollte sich im Bereich von mehr als 2 Oktaven bewegen.

Die untere Grenze des absoluten Stimmumfangs liegt etwa 2 Ganztöne unterhalb der Indifferenzlage.

Stimmgattungen

Abhängig von der Größe des Kehlkopfes und damit der Länge der Stimmlippen gibt es höher und tiefer angelegte Stimmen. Männliche und weibliche Stimmen werden demnach in Stimmgattungen unterteilt. Die tief angelegte Männerstimme wird als Bass bezeichnet, die hohe männliche Stimme als Tenor. Dazwischen liegt die Baritonstimme. Die weiblichen Stimmen werden in Alt (tief), Sopran (hoch) und Mezzosopran (mittel) unterteilt. Entsprechend der Stimmgattung liegt auch die mittlere Sprechstimmlage tiefer oder höher (■ **Tab. 2.4**).

■ Tab. 2.4 Stimmgattungen im Überblick

Stimmgattung	Umfang (etwa)	Mittlere Sprechstimmlage
Sopran	$g-g^2$	um h
Mezzosopran	$f-f^2$	um a
Alt	$g-d^2$	um f
Tenor	$A-a^1$	um H
Bariton	$G-g^1$	um A
Bass	$D-d^1$	um F

Tipp

Die Werte in ■ Tab. 2.4 dienen nur der groben Orientierung. In der Praxis schwanken Stimmumfang und Sprechstimmlage etwa um die in der Tabelle angegebenen Bereiche.

Die ausgebildete Gesangsstimme

Die Stimme eines gut ausgebildeten Sängers unterscheidet sich von der „normalen“ Gesangsstimme im Wesentlichen durch die **Tragfähigkeit** und den **Obertonreichtum**.

- Die Tragfähigkeit entsteht durch eine dunklere Klangfarbe infolge ausgeprägter Resonanzentwicklung.
- Der Obertonreichtum erhöht das Klangspektrum und wird bezüglich der Stimmqualität als **Brillanz** bezeichnet. Die Menge an Obertönen steht im direkten Zusammenhang mit der Schwingungsqualität der Stimmlippen.

Durch **Verkürzung der Öffnungsphase** der Stimmlippen, d. h., wenn die Stimmlippen während des Schwingungsvorgangs länger geschlossen als offen sind, entsteht ein größeres Obertonspektrum. Eine Verkürzung der Öffnungsphase erfordert eine feinere Dosierung des Luftstroms.

- Die Ausbildung der Gesangsstimme folgt dem Prinzip der Effizienz: Der Kraftaufwand wird reduziert, indem weniger Luft zur Stimmgebung verbraucht wird.

Vibrato

Als weiteres Merkmal der ausgebildeten Gesangsstimme gilt das Vibrato. Es stellt sich bei den meisten Gesangsstimmen dann ein, wenn die Stimme nach physiologischen Gesichtspunkten trainiert ist. Ein Vibrato entsteht, wenn während der Stimmgebung ein optimales Zusammenspiel von Atemdruck und Muskelspannung möglich ist. Beim Vibrato pendelt die Stimme etwa $1/4-1$ Ton um die gesungene Tonlage. Der Wechsel der Tonhöhe ist meist begleitet von einer Schwankung der Lautstärke um 1–4 dB sowie einem Wechsel der Klangfarbe und findet etwa 5- bis 7-mal pro Sekunde statt. Erfolgt die Stimm-schwankung häufiger, entsteht das sog. **Tremolo**. Das Tremolo wirkt wie ein „erzwungenes“ Vibrato und ist für die Gesangsstimme unerwünscht.

- Das Vibrato wird im Kunstgesang angestrebt, weil es der Stimme Lebendigkeit, Klangfülle und emotionale Aspekte verleiht.

Registerwechsel

Eine besondere Herausforderung für die Singstimme sind die Frequenzbereiche, in denen die Übergänge von einem zum anderen Register stattfinden. Dies betrifft im Wesentlichen den Übergang von Kopf- in Bruststimme und umgekehrt. Der Registerwechsel erfordert eine **Umstellung der muskulären Aktivität**. Während im Brustregister die Tätigkeit des M. vocalis überwiegt, wird die Spannung der Stimmlippen im Kopfreister hauptsächlich über die Kontraktion des **M. cricothyreoideus** erzeugt. Die Schwingung der Stimmlippen stellt sich von Vollauf Randschwingung um. Die Änderung der Muskel-tätigkeit macht ebenfalls eine **Veränderung des Anblasedrucks** erforderlich.

Der Registerwechsel setzt etwa 1–1,5 Oktaven oberhalb der mittleren Sprechstimmlage ein, kann sich aber besonders bei Veränderungen der Lautstärke verschieben. Aufgrund des reduzierten Kraftaufwands wechselt das Register bei leisem Singen in tieferer Stimm-lage, bei lautem Singen (verstärkter Kraftaufwand) in höherer.

- Bei ungeübten Stimmen ist die Veränderung der Klangqualität beim Wechsel des Registers deutlich hörbar und erfolgt meist von einem

Ton zum nächsthöheren oder tieferen. Trainierte Stimmen sind in der Lage, den Registerwechsel über mehrere Töne hinweg vorzunehmen, sodass der Übergang fließend und akustisch unauffällig ist.

Fazit

- Die Schwingung der Stimmlippen findet während der Ausatmung statt.
- Es wird angenommen, dass für den Schwingungsverlauf das Zusammenspiel aerodynamischer und myoelastischer Kräfte verantwortlich ist (aerodynamisch-myoeelastische Schwingungstheorie).
- Das dreidimensionale Schwingungsbild setzt sich aus einer horizontalen und vertikalen Schwingungsbewegung sowie der Randkantenverschiebung zusammen.
- Die Stimmatmung erfordert eine feine Dosierung des Atemstroms, überwiegend durch Zwerchfellaktivität.
- Die Muskelkraft, die während der Ausatmung zur Aufrechterhaltung der Einatmungstendenz aktiv ist, wird als Stützfunktion oder inspiratorische Gegenspannung bezeichnet.
- Ein ephysiologische Stimmgebung kommt durch ein optimales Zusammenspiel der Kräfte von Atemdruck und glottischem Widerstand zustande.
- Während der Phonation gilt die kostoabdominale Atmung als physiologisch.
- Abweichungen von der physiologischen Atemfunktion haben immer Auswirkungen auf die Stimmgebung.
- Das Ansatzrohr dient als Resonator, indem es das Obertonspektrum des Primärklangs filtert und einzelne Teiltöne verstärkt (Formantbildung).
- Eine Weitung des Resonators begünstigt die Resonanzentwicklung.
- Körperresonanz entsteht durch das Mitschwingen von Gewebe (Muskulatur, Knochen etc.).
- Brustresonanz wird durch die Vollschrwingung der Stimmlippen erzeugt (Schwingung der Grundfrequenz), Kopfesonanz durch Randschwingungen (Teiltöne).
- Das Stimmtimbre beschreibt die individuellen Merkmale eines Stimmklangs, die in Zusammenhang mit anatomischen

Gegebenheiten und Aspekten der Gesamtpersönlichkeit stehen.

- Die Regelung der Tonhöhe bedeutet eine Änderung der Schwingungsfrequenz und erfolgt in erster Linie durch die Veränderung der Stimmlippenspannung.
- Die Regelung der Lautstärke bedeutet eine Änderung der Schwingungsamplitude und erfolgt in erster Linie durch Veränderung der Luftstromstärke. Weiterhin hängt die Lautstärke wesentlich von der Resonanzentwicklung ab.
- Die Phonationsdauer ist einerseits davon abhängig, wie viel Luft zur Phonation zur Verfügung steht, andererseits davon, wie viel Kraft zur Phonation eingesetzt wird und wie gut sich glottischer Widerstand und Atemdruck aneinander angleichen.
- In der deutschen Sprache existieren drei physiologische Formen des Stimmesatzes: der harte, der gehauchte und der weiche Stimmesatz.
- Der vordere Stimmstz begünstigt die Resonanzentwicklung der Stimme und erhöht die Tragfähigkeit.
- Die Sprechstimme sollte sich im Bereich des Brustregisters aufhalten.
- Im Brustregister erfolgt eine Schwingungsbewegung der gesamten Stimmlippe.
- Durch Vollschrwingung kann das größtmögliche Klangspektrum erzeugt werden.
- Beim Gesang wird die Stimme in Mittel- und Kopfregeister ausgedehnt.
- Eine gesunde Sprechstimme ist weitgehend frei von Nebengeräuschen, frei von Anstrengung und Fehlspannungen. Sie ist leistungsfähig, resonanzreich und tragfähig. Sie ist über den gesamten Tonumfang in ihrer Lautstärke modulierbar.

2.5 Zentrale Kontrolle der Stimmfunktion

Funktionen des motorischen Systems werden nicht nur zentral gesteuert, sondern auch durch übergeordnete zentralnervöse Zentren kontrolliert und so den Umweltbedingungen optimal angeglichen. Während der Phonation werden das Stimmresultat

und die Muskelfunktionen durch das phonatorische Kontrollsystem überwacht. Das heißt, Funktion und Ergebnis werden mit der erforderlichen Leistung verglichen und dieser angepasst. Das phonatorische Kontrollsystem umfasst zwei Regelmechanismen: die neuromuskuläre und die audiophonatorische Kontrolle.

2.5.1 Neuromuskuläre Kontrolle

Die neuromuskuläre Kontrolle erfolgt über sog. **Propiorezeptoren**, die sich in Muskeln, Sehnen, Bändern und Gelenken befinden. Sie leiten Informationen aus dem gesamten Bewegungsapparat an das zentrale Nervensystem weiter. Diese Funktion wird als **Tiefensinn** bezeichnet. Der Tiefensinn orientiert über die Stellung der Gelenke zueinander, über erforderliche Muskelkraft und über die Richtung und Geschwindigkeit von Bewegungen. Die Wahrnehmung und Veränderung der muskulären Aktivität durch den Tiefensinn wird über neuromuskuläre Reflexbögen geleitet. Auf diese Weise sind schnelle Regelungs- und Anpassungsvorgänge möglich.

Die neuromuskuläre Kontrolle der Bewegungen bei der Phonation ist ein **unbewusster Prozess**, die Fähigkeit dazu ist weitestgehend angeboren. Sie wird durch den **Gebrauch der Stimme gefestigt** und kann durch eine **Ausbildung der Stimme trainiert** werden.

2.5.2 Audiophonatorische Kontrolle

Die audiophonatorische Kontrolle erfolgt über das Gehör. Das Hörorgan nimmt das Stimmergebnis auf, verarbeitet und vergleicht es zentral mit der für die jeweilige Sprechsituation angemessenen Klangvorstellung. Ergeben sich Abweichungen, kann die Stimme über willkürliche Steuerung der Motorik verändert werden. Dieser **Regelmechanismus** verläuft langsamer als die neuromuskuläre Kontrolle, ist für die Stimmkoordination aber von übergeordneter Bedeutung. Dies wird beispielsweise deutlich, wenn das Eigenhören während des Sprechens durch Vertäubung (Übertönen der eigenen Stimme durch „weißes“ Rauschen über Kopfhörer) ausgeschaltet

ist. Während die Artikulation dadurch unbeeinflusst bleibt, wird die Stimme lauter (Lombard-Reflex), in den meisten Fällen höher, und die Modulation nimmt ab. Längeres Sprechen bei beeinträchtigtem Eigenhören, z. B. durch Umgebungslärm, führt auf Dauer zu einer Überlastung der Stimme.

Bei **angeborener Gehörlosigkeit** ist eine Lautsprachentwicklung ohne fremde bzw. apparative Hilfe nicht möglich. Die erworbene Gehörlosigkeit führt einerseits zu einer Abnahme der Artikulationsgenauigkeit, andererseits geht die Kontrolle über die Stimme weitestgehend verloren. Die der Sprachmelodie angemessene Intonation ist nur eingeschränkt möglich, die Stimme ist instabil und wird oft zu hoch oder zu tief angesetzt (Friedrich et al. 2013)

➤ **Das audiophonatorische Kontrollsystem schließt zum Teil auch das Fremdhören mit ein. So kann der akustische Eindruck einer fremden Stimme ebenfalls zu Reaktionen des eigenen Stimmapparates führen.**

Beispielsweise kann eine heisere Stimme beim Zuhörer einen unwillkürlichen Räusperzwang auslösen oder sogar Engegefühle oder Schmerzen im Kehlkopfbereich. Umgekehrt ist es möglich, dass eine resonanzreiche, voll tönende Stimme über das Gehör die Stimmfunktion des Zuhörers stimuliert. Diesen Effekt kann sich die Stimmtherapeutin in der Therapie zunutze machen (► Abschn. 10.2.4).

2.5.3 Musikalität

Der Begriff der Musikalität steht im Zusammenhang mit dem phonatorischen Kontrollsystem. Es ist davon auszugehen, dass eingeschränktes musikalisches Empfinden auf eine **mangelnde Ausbildung der phonatorischen Kontrolle** zurückzuführen ist. „Man unterscheidet zwischen einer akustisch-rezeptiven und einer motorisch-expressiven Minderbegabung“ (Friedrich et al. 2013, S. 55) Bei der **akustisch-rezeptiven** Minderbegabung steht die Einschränkung der auditiven Diskriminationsfähigkeit im Vordergrund, die **motorisch-expressive** Minderbegabung äußert sich in einer mangelnden neuromuskulären Koordinationsfähigkeit.

- Eine optimale Anpassung der Stimmleistung an Umweltbedingungen setzt ein gewisses Maß an Musikalität voraus.

Fazit

- Das phonatorische Kontrollsystem überwacht und koordiniert die Funktionen des Stimmapparates.
- Die neuromuskuläre Kontrolle dient der reflexartigen Koordination der erforderlichen Muskelfunktionen.
- Die audiophonatorische Kontrolle vergleicht und reguliert über das Hörorgan Klangvorstellung und Stimmresultat.
- Musikalität steht im Zusammenhang mit der Entwicklung des phonatorischen Kontrollsystems.

2.6 Artikulation

Neben der phonatorischen Funktion besitzt das Ansatzrohr bei der Sprachbildung die Funktion der Lautbildung (artikulatorische Funktion). Die Laute der deutschen Sprache werden grob unterteilt in Vokale (sog. Öffnungslaute) und Konsonanten, die durch Bildung von Hemmstellen für den Luftstrom im Vokaltrakt entstehen. Die meisten Konsonanten sind charakterisiert durch ein spezifisches Geräusch, das durch die Hemmung des Luftstroms entsteht.

2.6.1 Vokalbildung

Bei der Bildung von Vokalen befindet sich das Ansatzrohr in einer relativen Weitstellung, sodass der Luftstrom das Ansatzrohr ungehindert passiert. Die einzelnen Vokale unterscheiden sich vorwiegend durch die Position, die die Zunge bei der Formung des jeweiligen Vokals einnimmt. Dabei kommt es zur **Ausbildung vokalspezifischer Formanten**.

Das Ansatzrohr besitzt als Resonator die Funktion des **Klangfilters**. Die Entstehung einzelner Formanten durch Verstärkung von Teiltönen führt zur spezifischen Klangfärbung einer Stimme. Dabei

entscheidet die individuelle Form des Ansatzrohrs darüber, welche Frequenzen des primären Klangspektrums verstärkt werden.

Bei der Bildung von Vokalen sorgt die jeweilige **Verformung** des Ansatzrohrs dafür, dass weitere Teiltöne – überwiegend der unteren Frequenzbereiche – verstärkt werden. Diese Formanten sind spezifisch für den Klang des jeweiligen **Vokals**.

- **Unabhängig von Sprecher und Stimmlage liegen die Vokalformanten immer innerhalb derselben Frequenzbereiche.**

Ein Vokal wird also gebildet, indem mittels Veränderungen des Resonanzraums **Obertöne verstärkt** werden, die zur Formung eines spezifischen Vokalklangs führen. Um einen Vokal klanglich identifizieren zu können, genügen **zwei Formanten**.

- Der erste dieser Formanten entsteht im Raum zwischen Glottis und der engsten Stelle zwischen Zunge und Gaumen (Zungenenge). Er wird hauptsächlich beeinflusst durch die Stellung des Kehlkopfes (hoch/tief) und durch Form- und Lagevariationen (horizontal/vertikal) der Zunge. Daneben spielen die Weite des pharyngealen Ansatzrohrs, Stellung des Gaumensegels und Reflexionseigenschaften der Rachenwand eine Rolle. Die Frequenzen des ersten Formanten liegen etwa zwischen 300 Hz und 800 Hz.
- Der zweite Formant entsteht in Abhängigkeit der Raumverhältnisse zwischen Mundöffnung und Zungenenge. Liegt die Zunge weiter hinten, vergrößert sich dieser Abstand, und die Frequenz des Formanten wird tiefer. Verlagert sich die Zunge nach vorne, verkleinert sich der vordere Mundraum, und die Frequenz des Formanten erhöht sich. Der zweite Formant variiert in einem Bereich von etwa 800 Hz bis 2400 Hz.

Neben der Zungenstellung unterscheiden sich Vokale auch durch den Öffnungsgrad des Mundes (Kieferöffnung) und die Rundung der Lippen.

Aufgrund der großen Flexibilität des Mundraums existieren theoretisch unzählige Vokale unterschiedlicher Klangqualität. In der hochdeutschen

Sprache werden neben den **fünf Kardinalvokalen** („a“, „e“, „i“, „o“, „u“) noch etwa 14 weitere Vokalformen benutzt, die klanglich zwischen oder nahe bei den Kardinalvokalen stehen.

2.6.2 Konsonantenbildung

Konsonanten werden zum einen entsprechend ihrer Bildungsart unterteilt, zum anderen in stimmhafte und stimmlose Laute. Unterschieden werden (in Anlehnung an Friedrich et al. 2013):

- Frikative (Reibelaute)
- Approximanten (Engelaute)
- Plosive (Verschlusslaute)
- Nasale (Nasallaute)
- Vibranten (Schwinglaute)

➤ **Alle stimmhaften Laute, also Vokale und stimmhafte Konsonanten, werden auch als Klinger bezeichnet.**

Plosive (Verschlusslaute) Bei den explosiven Lauten wird durch Lippen oder Zunge ein Verschluss des Mundraums erzeugt, der durch den Ausatemstrom gesprengt wird. Der Verschluss steht dabei vor der Lautbildung, der Laut selbst entsteht erst durch die Sprengung. Stimmlose Explosive sind „p“, „t“ und „k“. Bei „b“, „d“ und „g“ erfolgt ein Stimmeinsatz mit der Sprengung. Die Laute klingen damit weicher.

Nasale (Nasallaute) Nasallaute („m“, „n“, „ng“) entstehen dadurch, dass der Mundraum durch Lippen oder Zunge verschlossen wird, sodass der Klang durch die Nase geführt wird. Nasale sind stimmhaft und werden ohne Geräuschanteil gebildet. Sie sind klanglich durch die nasale Färbung charakterisiert.

Frikative (Reibelaute) Reibelaute werden gebildet, indem der Atemstrom durch eine Engstelle im Ansatzrohr strömt. Die Reibelaute werden entweder zwischen Zähnen und Lippen oder zwischen Zunge und Gaumen erzeugt. Zu den Reibelauten gehören das „s“, das „f“ und das „sch“ sowie „ch₁“ und „ch₂“. Bis auf das „ch₂“ werden alle Reibelaute im Deutschen stimmlos wie stimmhaft gebraucht. Zu den Frikativen gehört auch der **Hauchlaut** „h“, der auf Höhe des Kehlkopfes stimmlos gebildet wird. Dabei

werden die Stimmlippen zum sog. **Flüsterdreieck** verengt.

Affrikaten (Verschluss-Reibelaute) Die Affrikaten („ts“, „pf“, „tsch“) werden zu Beginn wie Plosive gebildet, der Verschluss wird hier aber allmählich gelöst als Reibegeräusch.

Approximanten (Halbvokale) In der deutschen Sprache existieren zwei Formen der Halbvokale, die als Konsonanten mit der geringsten Hemmung des Luftstroms und ohne Reibegeräusch gebildet werden: das „j“ in Jacke (auf Höhe des Gaumens) und das „w“ in warm (auf Höhe der Lippen).

Vibranten (Zitter- oder Schwinglaute) Als Zitterlaute existieren zwei Formen des „r“. Dabei wird entweder die Zungenspitze oder das Gaumensegel durch den Luftstrom in Vibration versetzt. Das „r“ wird immer stimmhaft gebraucht.

Laterale (Lateralengelaute) Der Lateralengelaute „l“ entsteht durch das Anlegen der Zungenränder an den Gaumen. Die Luft strömt an den hinteren Zungenrändern vorbei durch die Mundhöhle. Das „l“ ist ein stimmhafter Konsonant ohne Geräuschanteil.

2.6.3 Einfluss der Artikulation auf die Glottisfunktion

Neben der Lautbildungs- und Resonanzfunktion ergeben sich durch die Artikulation unmittelbare Auswirkungen auf die Schwingungsqualität der **Stimmlippen** (► Abschn. 9.3.1).

Konsonanten Einerseits erfordern einzelne Konsonanten eine unterschiedliche Stärke von Anblasedruck – je nachdem, wie der Atemstrom gelenkt wird und welche Engstellen er im Vokaltrakt passieren muss. So verlangt beispielsweise die Bildung eines stimmhaften „s“ einen stärkeren Anblasedruck als ein „m“. Dem entsprechenden Anblasedruck müssen sich glottischer Widerstand und Stimmlippen-schwingung anpassen.

Vokale Bei der Vokalbildung hingegen entscheidet im Wesentlichen die Lage der Zunge über Auswirkungen auf die Glottisfunktion. Während

beispielsweise beim „u“ die Zunge weit hinten im Mund liegt und der Zungengrund nach unten drückt, liegt der Zungenrücken bei der Bildung des „i“ fast am Gaumen, der Zungengrund wird nach oben gezogen. Da Zunge und Kehlkopf über das Zungenbein miteinander verbunden sind, folgt der Kehlkopf den Bewegungen des Zungengrundes. Durch eine Senkung des Zungengrundes wird so eine Kehlkopftiefstellung unterstützt, die Stimmlippen sind relativ entspannt. Zieht der Zungengrund den Kehlkopf nach oben, kommt es zu einem verstärkten Zug auf die äußere wie innere Kehlkopfmuskulatur; die Spannung der Stimmlippen wird erhöht.

- **Die Verbindung von Zungen- und Kehlkopfbewegung ergibt sich aus der Primärfunktion von Vokaltrakt und Kehlkopf: Anhebung und Vorwärtsbewegung des Zungenbeins und des Kehlkopfes nach Auslösung des Schluckreflexes stellen einen Schutzmechanismus dar, um die unteren Atemwege vor Aspirationen zu schützen**
(► Abschn. 2.2).

Fazit

- Vokale entstehen durch Verformung des Ansatzrohrs. Dabei werden Formanten gebildet, die für den charakteristischen Klang eines Vokals verantwortlich sind.

- Konsonanten entstehen, indem das Ansatzrohr Hemmstellen für den Luftstrom erzeugt. Unterschieden werden stimmhafte und stimmlose Konsonanten.
- Die Glottisfunktion wird aufgrund der erforderlichen Luftstromstärke zur Bildung einzelner Konsonanten unmittelbar durch die Artikulation beeinflusst.
- Da Zunge und Kehlkopf über das Zungenbein miteinander verbunden sind, verändern artikulationsbedingte Zungenbewegungen die Grundspannung der Kehlkopfmuskulatur.

2.7 Stimmentwicklung

Veränderungen der Stimme in unterschiedlichen Lebensaltern hängen vorwiegend mit den Veränderungen der anatomischen Verhältnisse im Laufe der Entwicklung zusammen. Während im Kindesalter Kehlkopf und Ansatzrohr bedeutend kleiner sind als beim Erwachsenen, führen im Alter Veränderungen der Gewebe (Verlust von Bindegewebselastizität, Verknöcherung knorpeliger Gewebsanteile, Trockenheit der Schleimhäute etc.) zu einer Einschränkung der stimmlichen Leistungskraft. Weiterhin spielen der Reifungsgrad und der Zustand des zentralen Nervensystems eine wesentliche Rolle bei der Stimmentwicklung. Einen Überblick über altersbedingte Veränderungen der Stimme gibt (► Tab. 2.5).

■ **Tab. 2.5** Übersicht Stimmentwicklung

Geburt	Neugeboreneneschrei um 440 Hz (a')
Bis 2,5 Jahre	Allmähliches Absinken der Stimmlage auf etwa d'
Bis etwa 8. Lebensjahr	Erweiterung des Stimmumfangs, Absinken der Sprechstimmlage auf a–h
9.–14. Lebensjahr	Einsetzen des Stimmwechsels infolge Ausschüttung von Hormonen. Absinken der männlichen Sprechstimmlage um etwa 1 Oktave, Absinken der weiblichen Sprechstimmlage um eine Terz bis Quart
Bis 18. Lebensjahr	Abschluss der Postmutationsphase
18.–50. Lebensjahr	Erwachsenenstimme. Hormonelle Veränderungen (Schwangerschaft, Menstruation) können bei der Frau vorübergehende Veränderungen der Stimmfunktion bewirken
Um 50. Lebensjahr	Bei der Frau Einstellung der Produktion weiblicher Hormone (Klimakterium), dadurch Absinken der Stimmlage sowie Einschränkung des Stimmumfangs möglich
Ab 50. Lebensjahr	Beginn von Stimmveränderungen infolge Alterungsprozessen der Gewebe und Einschränkung der Funktionen. Abnahme von Resonanz, Stabilität und Stimmumfang. Männliche Stimmlage erhöht sich

2.7.1 Die Säuglingsstimme

Geburtsschrei Die Stimmentwicklung beginnt bereits unmittelbar nach der Geburt mit dem sog. Geburtsschrei. Nachdem das Kind vom Stoffwechsel der Mutter getrennt ist, löst der Sauerstoffbedarf über das Atemzentrum die erste Einatmung aus. Mit der folgenden Ausatmung ertönt – normalerweise – der erste Schrei. Über die Bedeutung des Geburtsschreis gibt es bereits seit dem Altertum vielerlei Spekulationen. Fest steht, dass dieser Schrei ein **Reflex** ist, der zu einer intensiven Atemtätigkeit führt und somit eine gute Sauerstoffversorgung

des Neugeborenen gewährleistet. Die Frequenz des ersten Schreiens liegt bei allen Neugeborenen bei etwa 400–450 Hz.

Stimmentwicklung im ersten Lebensjahr In den ersten Lebenswochen wird das Schreien als Reflex beibehalten und dient dazu, die Umwelt auf die Bedürfnisse des Organismus aufmerksam zu machen. Das heißt, das Neugeborene schreit, wenn es hungrig ist, Schmerzen hat, friert oder schwitzt. Das Schreien erfüllt also eine lebenswichtige Funktion und besitzt bereits kommunikativen Charakter (► **Exkurs „Reflektorischer Stimmgebrauch“**).

Exkurs

Reflektorischer Stimmgebrauch

Da die Stimme zunächst dem Erhalt des Organismus dient, wird die Funktion der stimmgebenden Organe wie alle vitalen Funktionen von Arealen des Hirnstamms aus gesteuert.

Während des Hirnreifungsprozesses entstehen vom Hirnstamm aus Verknüpfungen zur Großhirnrinde. Der Stimmgebrauch wird so zu einer willkürlich steuerbaren Funktion. Der reflektorisches Stimmgebrauch bleibt dennoch weitgehend erhalten. Auch

beim Erwachsenen lösen Faktoren, die den Organismus bedrohen, wie Schmerz oder Schreckerlebnisse, reflektorisches stimmliche Äußerungen aus.

Nach etwa 4–5 Wochen differenzieren sich die stimmlichen Äußerungen. Der Säugling moduliert das Schreien durch Veränderungen von Tonhöhe, Lautstärke und Stimmansätzen und beginnt, nicht nur seinem Unwohlsein, sondern auch Zufriedenheit und Wohlbefinden Ausdruck zu verleihen. Es handelt sich hierbei nicht mehr um ein rein reflektorisches Schreien. Besonders die Mutter lernt schnell, die unterschiedlichen Nuancen in der Stimme zu verstehen und gezielt auf die Bedürfnisse des Kindes einzugehen. Es zeigen sich bereits erste Reaktionen auf das stimmliche Verhalten der Umgebung. So wirkt beispielsweise leises Sprechen mit weichen Stimmansätzen in hoher Tonlage beruhigend auf das Kind.

Mit etwa 6–9 Monaten setzt das erste eigentliche Sprachverständnis ein. Es handelt sich noch um ein präverbales Stadium: Das Kind versteht Sprache anhand von Betonung und Sprachrhythmus, gleichzeitig ist es in der Lage, diese Sprachmerkmale stimmlich nachzuahmen. Mit etwa einem Jahr kann das Kind dann erste Begriffe Gegenständen zuordnen und einzelne Wörter selbst sprechen. Zu dieser

Zeit beginnt das Kind auch, Merkmale der stimmlichen Vorbilder zu übernehmen, beispielsweise eine Heiserkeit der Mutter (Wendler et al. 2015; Brohammer und Kämpfer 2016).

2.7.2 Die Stimme im Kindesalter

Die Leistungsfähigkeit der Stimme nimmt mit der Entwicklung und dem Wachstum des Kindes nach und nach zu.

- Mit **ungefähr 2 1/2 Jahren** sinkt die mittlere Sprechstimmlage auf etwa d¹.
- Der Stimmumfang erweitert sich bis zum Alter von **6 Jahren**.
- Mit etwa **8 Jahren** sinkt die Sprechstimmlage weiter ab auf a–h.
- Bis zum **Beginn der Pubertät** entwickeln sich Mädchen- und Jungenstimmen gleich.

Unterteilt werden die kindlichen Stimmlagen und Stimmumfänge in Sopran, Mezzosopran und Alt.

2.7.3 Stimmwechsel (Mutation)

Der Stimmwechsel tritt während der Pubertät im Rahmen der allgemeinen sexuellen Reifung ein. In dieser Zeit werden die sekundären Geschlechtsmerkmale ausgebildet, zu denen auch die Stimmfunktion bzw. der Stimmapparat gehören. Die Pubertät setzt zwischen dem 9. und dem 14. Lebensjahr ein und wird verursacht durch die Produktion bestimmter Geschlechtshormone. Unmittelbar für die körperlichen Veränderungen verantwortlich ist beim Jungen das **Testosteron**, das in den Keimdrüsen gebildet wird. Beim Mädchen schüttet die Nebennierenrinde weibliche Geschlechtshormone aus, die **Östrogene**.

Männlicher Stimmwechsel

Beim Jungen kommt es innerhalb von 2–3 Monaten zu einem bemerkenswerten Kehlkopfwachstum. Die Stimmlippen verlängern sich um etwa 1 cm, die Muskelmasse nimmt zu. Die organischen Veränderungen erfordern eine Umstellung der zentralen Steuerung des Stimmapparates. Diese Umstellung kann bis zu einem Jahr dauern. Innerhalb dieser Zeit sinkt die männliche Sprechstimmlage um etwa **1 Oktave**. Begleitet ist der Stimmwechsel von einer eingeschränkten Belastbarkeit der Stimme, die sich durch Heiserkeit, Instabilität und Kippen zwischen den Stimmlagen (**Stimmbruch**) bemerkbar machen kann.

Häufig tritt das sog. **Mutationsdreieck**, ein unvollständiger Glottisschluss während der Mutation, auf. Die Stimmlippen schließen nur im Bereich der vorderen zwei Drittel. Sie können gerötet und aufgelockert sein mit vermehrter Schleimauflagerung.

Der Stimmwechsel wird in **drei Phasen** unterteilt:

- Bereits mit dem 9. Lebensjahr kann die sog. **Prämutation** beginnen. In dieser Phase erfolgt eine allmähliche Absenkung der Sprechstimmlage.
- Während der eigentlichen **Mutationsphase**, zwischen dem 12. und 16. Lebensjahr, findet der Stimmwechsel statt.
- Die **Postmutation** dauert bis etwa zum 18. Lebensjahr. In dieser Zeit stabilisiert

sich die neue Stimmlage, es entsteht der eigentliche männliche Stimmklang, und der Stimmumfang erweitert sich nach unten.

Weiblicher Stimmwechsel

Bei Mädchen setzt die Mutation durchschnittlich etwa 1–2 Jahre früher ein und verläuft normalerweise unauffällig. Das Größenwachstum des Kehlkopfes führt zu einer Verlängerung der Stimmlippen um 2–3 mm, die Sprechstimmlage sinkt um etwa 1 Terz. Der Stimmwechsel erfolgt ebenfalls innerhalb von 2–3 Monaten, die Mutation ist mit etwa 16 Jahren abgeschlossen.

2.7.4 Die Stimme des Erwachsenen

Etwa **zwischen dem 20. und dem 50. Lebensjahr** besitzt die Stimme die größte Leistungsfähigkeit. Frauenstimmen sind auch im Erwachsenenalter Einflüssen **hormoneller Schwankungen** unterworfen. Besonders vor und während der Regelblutung kann es zu hormonell verursachten Veränderungen des Stimmklangs und der stimmlichen Leistungsfähigkeit kommen. Die weiblichen Geschlechtshormone wirken sich auf den Elektrolyt- und Wasserhaushalt des Körpers aus. Austrocknung oder Wassereinlagerung können zu Gewbsveränderungen führen, die sich auf die schwingungsmechanischen Eigenschaften der Stimmlippen auswirken und so die Leistungsfähigkeit der Stimme beeinträchtigen. Auf ähnliche Weise kann es durch hormonelle Veränderungen während der Schwangerschaft zu Stimmveränderungen kommen (► Abschn. 4.6.3).

Klimakterium

Die bei der Frau um das 50. Lebensjahr auftretenden Wechseljahre werden wieder durch eine hormonelle Umstellung hervorgerufen. Während sich die Produktion der weiblichen Geschlechtshormone stark reduziert, unterliegt der Körper weiterhin dem Einfluss geringer Mengen männlicher Hormone. Es kommt zu vermehrter Durchblutung der Stimmlippen und zu Schleimhautverdickungen.

- **Durch die hormonelle Umstellung während des Klimakteriums sinkt bei Frauen die Sprechstimmlage meist ab, der Stimmumfang wird geringer.**

2.7.5 Die Altersstimme

Im Alter führen allgemeine Alterungserscheinungen zu einer Einschränkung der Stimmfunktion. Neben Gewebsveränderungen wie mangelnder Elastizität der Bindegewebe, Austrocknung der Schleimhäute sowie Abnahme der Muskelkraft beginnt etwa um das 60. Lebensjahr die Verknöcherung und Verkalkung der Kehlkopfknorpel, die Beweglichkeit der Gelenke nimmt ab. Zu den Stimmveränderungen tragen weiterhin die Abnahme der Hörschärfe, Einschränkungen der Atemfunktion sowie Ungenauigkeiten der zentralnervösen Koordination bei. Klanglich machen sich diese Veränderungen bemerkbar als Abnahme des Klangspektrums: Die Stimme klingt dünner und schwächer, möglicherweise schrill, brüchig, blechern oder verhaucht. Aufgrund mangelnder Koordinationsfähigkeit kann die Stimme zittern (**Alterstremolo**). Der Stimmumfang nimmt ab.

- **Während die weibliche Stimme im Alter dazu neigt, tiefer zu werden, findet sich bei der männlichen Stimme oft eine Anhebung der Sprechstimmlage. Die Sprechstimme kann sich bis in den Bereich der Fistellage verschieben, es kommt zum sog. Greisendiskant.**

Eine pathologische Veränderung der Stimme im Alter wird als **Presbyphonie** bezeichnet und ist von den allgemeinen altersbedingten Veränderungen der Stimme abzugrenzen (Böhme 2015) (► Abschn. 4.11.3.)

Fazit

- Die Stimmfunktion ist angeboren, der Gebrauch der Stimme setzt (normalerweise) mit dem Zeitpunkt der Geburt ein.
- Entwicklungsbedingte Veränderungen der Stimme unterliegen dem Reifungsgrad des zentralen Nervensystems, hormonellen Einflüssen sowie allgemeinen Alterungsprozessen.

- Eine bedeutende Stimmveränderung setzt beim Mann während der Pubertät ein: Die Stimmlage sinkt dabei um ca. 1 Oktave ab.
- Im Erwachsenenalter (bis etwa 50 Jahre) besitzt die Stimme ihre maximale Leistungsfähigkeit.
- Im Alter nimmt die Leistungsfähigkeit der Stimme ab, der Stimmumfang wird geringer. Weibliche Stimmen werden tiefer, männliche höher.

Literatur

- Böhme G (2015) Sprach-, Sprech-, Stimm- und Schluckstörungen; Bd 1: Klinik. Urban & Fischer/Elsevier, München
- Brohammer C, Kämpfer A (2016) Therapie kindlicher Stimmstörungen; Übungssammlung. Reinhardt, München
- Friedrich G, Biegenzahn W (1995) Phoniatrie und Pädaudiologie. Huber, Bern
- Friedrich G, Biegenzahn W, Zorowka P, Brunner E (2013) Phoniatrie und Pädaudiologie. Einführung in die medizinischen, psychologischen und linguistischen Grundlagen von Stimme, Sprache und Gehör, 5. Aufl. Huber, Bern
- Garcia M (1840) Ecole de Garcia: Traité complet de l'art du chant. Troupenas, Paris
- Nawka T, Wirth G (2008) Stimmstörungen. Für Ärzte, Logopäden, Sprachheilpädagogen und Sprechwissenschaftler. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln
- Rabine E (1989) Zusammenhänge zwischen Körperhaltung, Atmung und Stimme. In: Rohmert W (Hrsg) Grundzüge des funktionalen Stimmtrainings. Ein Leser-Service der Zeitschrift für Arbeitswissenschaft. Schmidt, Köln
- Rabine E, Jacoby P (1989) Die drei Teilfunktionen der Stimmfunktion. In: Rohmert W (Hrsg) Grundzüge des funktionalen Stimmtrainings. Ein Leser-Service der Zeitschrift für Arbeitswissenschaft. Schmidt, Köln
- Sataloff RT (2005) Voice science. Plural Pub, San Diego
- Wendler J, Seidner W, Eysholdt U (Hrsg) (2015) Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie. Thieme, Stuttgart
- Wirth G (1995) Stimmstörungen, 4. Aufl. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln

Stimmtherapie mit Erwachsenen

Was Stimmtherapeuten wissen sollten

Hammer, S.S.; Teufel-Dietrich, A.

2017, XVII, 324 S. 51 Abb., 41 Abb. in Farbe. Mit

Online-Extras., Softcover

ISBN: 978-3-662-53976-7