

Physiotherapie Basics



Rega Rutte · Sabine Sturm

Atemtherapie

3. Auflage

EBOOK INSIDE

 Springer

Physiotherapie Basics

EBOOK INSIDE

Die Zugangsinformationen zum eBook inside finden Sie
am Ende des Buchs.

Rega Rutte
Sabine Sturm

Atemtherapie

3., überarbeitete Auflage

Mit 546 Abbildungen

Rega Rutte
Ihrlerstein, Germany

Sabine Sturm
Ladenburg, Germany

Ergänzendes Material finden Sie unter <http://extras.springer.com>

ISBN 978-3-662-54627-7 978-3-662-54628-4 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-54628-4>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2003, 2010, 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Wir danken den Firmen Richard Kaphingst GmbH, Physikalische Therapie und Rehabilitation, Marburg; CEGLA Medizintechnik, Montabaur; Tyco Healthcare Deutschland GmbH, Neustadt/Donau sowie Interport Begro, Marburg für ihre freundliche Unterstützung.

Grafiken und Zeichnungen: Dr. Günter Körtner, Marburg

Fotos: Peter Mertin, Cologne Enterprises Production, Köln

Umschlaggestaltung: deblik Berlin

Fotonachweis Umschlag: © Peter Mertin, Cologne Enterprise Production, Köln

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH, DE

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Atem

*Klares Wasser.
Ich tauche in dich –*

*die Weite:
ein Werden,
ein Lassen*

getragen vom Licht. –

*Und
Innen und Außen
sind eins.*

*Ralf Rainer Reimann
01.05.2002*

Geleitwort

Den Autorinnen Rega Rutte und Sabine Sturm gebührt große Anerkennung und Dank. Sie greifen das Problem unserer Zeit auf, denn die Überbetonung der mentalen Lebensform bringt uns nicht nur tiefes Unbehagen, sondern auch Not. Immer wieder von rationalem Denken regiert, ja beherrscht, bedürfen wir dringend der Hinwendung zu Lebensqualitäten, die Jahrhunderte nicht beachtet wurden bzw. im Unbewussten blieben. Es ist die Erfahrung – dem Thema der Autorinnen gemäß die leibliche Erfahrung, die durch das Empfindungsvermögen, durch den Tastsinn, in das Bewusstsein dringt. Es bedeutet einen großen Schritt, durch die unmittelbare Wahrnehmung das Körperliche bis in tiefe Schichten kennenzulernen und damit bewährte Methoden mit neuen Erkenntnissen zusammenzuschließen.

Die Autorinnen sind den Weg des Erfahrbaren Atems intensiv gegangen und werden nun aus eigenem Erleben die Erfahrung vieler Interessenten (oder deren Schülerschaft) wecken. Das innere Verständnis und die Präzision, mit der die Autorinnen den Erfahrbaren Atem dargebracht haben, werden ein gutes Fundament für die Übenden bilden.

Ich wünsche diesem inhaltsreichen Buch aufnahmebereite Leser, die ihren Atem durch das erweckte Empfindungsvermögen als wachsende Kraft erfahren können.

Prof. Ilse Middendorf

Berlin, den 6. Mai 2002

Vorwort zur 3. Auflage

Die vorliegende 3. Auflage nutzen wir dazu, evidenzbasierte Erkenntnisse in der physiotherapeutischen Atemtherapie zu ergänzen und neu aufzunehmen.

Der ICF-Standard strukturiert die Befunderhebung neu und führt zu einer geänderten Dokumentation. Um die praxisnahe Umsetzung zu verdeutlichen, werden die Befundaufnahme und die Behandlungsplanung an aktuellen Patientenbeispielen gezeigt.

Der neuen trainingsphysiologischen Forschung zur Leistungsverbesserung von Atemwegs- und

Lungenerkrankungen wird in dieser Auflage Rechnung getragen. Zum Erreichen des Ziels »Verbesserung der Belastbarkeit« (► Kap. 9) werden nun Maßnahmen zur Ökonomisierung von Bewegungen und zum Steigern der Ausdauer um Maßnahmen zur Kraftsteigerung ergänzt.

Wir wünschen allen Lesern viel Freude und Erfolg bei der atemtherapeutischen Arbeit und beim Sammeln eigener Erfahrungen.

Rega Rutte
Sabine Sturm

Ihrlerstein und Ladenburg, im Jahr 2017

Vorwort zur 1. Auflage

Mit diesem Buch bot sich uns die Möglichkeit, unsere langjährigen Erfahrungen in der Atemtherapeutischen Behandlung und Ausbildung zu bündeln und einer breiten Leserschaft zugänglich zu machen. Unser Anliegen war es dabei, ein benutzerfreundliches und rundum praxisorientiertes Buch zu entwickeln. Es soll den Physiotherapieschüler durch Ausbildung und Prüfung begleiten und ihm den Einstieg in die therapeutische Arbeit erleichtern. Schließlich kann auch der erfahrene Therapeut hier immer wieder auf die vollständige Darstellung der Behandlungsmaßnahmen zurückgreifen.

Aus diesen Grundgedanken heraus ergaben sich Form und Inhalt des Buches. So sind die anatomischen und physiologischen Grundlagen im Theorie-Abschnitt gezielt auf die Inhalte des Themenbereichs Atemtherapie ausgerichtet; damit wurde die Informationsfülle in diesem Bereich auf das für den Schüler wesentliche und überschaubare Ausmaß begrenzt. Der praktische Teil ist in die Kapitel Befunderhebung, Ziele und Maßnahmen gegliedert. Aus der eingehend erläuterten Befunderhebung lassen sich die Atemtherapeutischen Behandlungsziele ableiten. Die geeigneten Behandlungsmaßnahmen werden diesen Zielen zugeordnet und systematisch vorgestellt. Weitere, die Atemtherapie unterstützende Behandlungstechniken werden ergänzend beschrieben. Die Kombination aus ausführlicher Bebilderung und genauer Beschreibung vermittelt dabei einprägsam die Bewegungsabläufe der Atemtherapeutischen Übungen. Ein Überblick über die in der Atemtherapie eingesetzten Geräte und vier repräsentative Behandlungsbeispiele vervollständigen den praktischen Teil des Buches.

Nach unserer Ausbildung zur Physiotherapeutin haben wir beide unsere Körperwahrnehmung durch die Methode des Erfahrbaren Atems nach Ilse Middendorf erweitert. Wir konnten dabei

selbst erleben, wie wohltuend das Bewegen mit dem Atem für Körper und Seele sein kann. Unsere dabei wachsende Empfindungsfähigkeit machte es möglich, die Gesetzmäßigkeiten unseres Atems zu entdecken. Dadurch bekamen wir Kriterien an die Hand, mit denen wir auch unsere physiotherapeutische Arbeit besser einschätzen können: Mit einer sensibilisierten Wahrnehmung kann der Therapeut im Laufe der Behandlung auch geringe Veränderungen beim Patienten erkennen und als Erfolg werten.

Da wir dies als große Bereicherung unserer Arbeit empfinden, wollen wir in diesem Buch auch die Physiotherapieschüler auf die eigene Körperwahrnehmung aufmerksam machen. Im Kapitel »Der Erfahrbare Atem nach Ilse Middendorf« geben wir daher den Lesern die Möglichkeit, selbst zu erfahren, wie Dehnen, Bewegen und Tönen auf den Atem wirkt. Die persönlich gewonnenen Einsichten können eine Erweiterung der Atemtherapeutischen Grundlagen darstellen. Damit leisten wir einen Transfer aus dem Erfahrbaren Atem in die Physiotherapie. Dies soll letztlich dazu beitragen, dass die physiotherapeutischen Behandlungen differenzierter und damit auch erfolgreicher werden.

Unser herzlicher Dank richtet sich an Prof. Ilse Middendorf († 2007), die uns an die Erfahrung des Atems heranführt und begleitet, an Juerg Roffler für seine präzise Atemdidaktik und an Katrin von der Decken, deren kontinuierlich positive Haltung die Entstehung dieses Buches maßgeblich unterstützte.

Wir wünschen allen Lesern einen lebendigen Umgang mit Atem und Bewegung.

Rega Rutte
Sabine Sturm

Marburg und Heidelberg, Dezember 2002

Die Autorinnen



Rega Rutte

Berufserfahrung

- 1983–1986 Physiotherapeutin, Studentenwerk Marburg
- 1986–1995 Lehrtätigkeit an der Physiotherapieschule IFBE Marburg
- 1995–2015 Arbeit in eigener Praxis in Marburg
- 2005–2007 Lehrbeauftragte am Institut für Sprachheilpädagogik der Justus-Liebig-Universität Gießen
- 2014–2015 Lehrbeauftragte am Institut für Sprachheilpädagogik der Justus-Liebig-Universität Gießen
- Seit 2016 Arbeit in eigener Praxis in Regensburg und Kelheim

Ausbildung

- 1983 Staatliche Anerkennung als Physiotherapeutin
- 1989–1991 Pädagogische Weiterbildung für Lehrkräfte an medizinischen Schulen, IFBE Marburg
- 1990–1995 Ausbildung zur Atempädagogin am Ilse-Middendorf-Institut für den Erfahrbaren Atem, Beerfelden
- 2004–2006 Vertiefungslehrgang Erfahrbarer Atem, Prof. Ilse Middendorf, Berlin
- 2012 Abschluss der Weiterbildung zur Focusing-Beraterin, DAF Würzburg

Veröffentlichungen

- 2010 Atem ist Bewegung, Kraft und Rhythmus. DVD-Reihe zum »Erfahrbaren Atem« unter www.rega-rutte.de



Sabine Sturm, B.A.

Berufserfahrung

- 1985–1986 Physiotherapeutin, Stiftung Rehabilitation, Heidelberg
- 1986–1992 Lehrtätigkeit an der Physiotherapieschule, Viernheim
- 1992–1999 Ltd. Physiotherapeutin, Stiftungskrankenhaus Speyer GmbH
- Seit 1997 Seminare und Einzelbehandlungen im Erfahrbaren Atem
- Seit 1999 Ltd. Physiotherapeutin, PTO, Neustadt/Weinstr., Speyer
- 1999–2004 Ltd. Physiotherapeutin PTO, Neustadt/Weinstr., Grünstadt
- 2004–2007 Freie Mitarbeiterin Physiotherapiepraxis Fiedler, Mannheim
- 2007–2011 Ausbildungsleitung, Akademie für Gesundheitsfachberufe Pfalz, AG, Frankenthal
- Seit 2008 Arbeit in eigener Praxis, Heidelberg
- Seit 2015 Leiterin der Physiotherapieschule Grünstadt, Grünstadt

Ausbildung

- 1982 Staatliche Anerkennung als Physiotherapeutin
- 1990 Lehrbefähigung Deutsche Zentrale für Volksgesundheitspflege e. V.
- 1992–1996 Ausbildung zur Atempädagogin am Ilse-Middendorf-Institut für den Erfahrbaren Atem, Beerfelden
- 1997 Abschluss der Ausbildung zur Atempädagogin, San Francisco, USA
- 2004–2006 Vertiefungslehrgang Erfahrbarer Atem, Prof. Ilse Middendorf, Berlin
- 2010 Bachelor of Arts in Physiotherapie, Thim, Hogeschool voor Fysiotherapie, Nieuwegein, NL
- 2009–2010 Dozentenlehrgang, Bachelor of Arts in Physiotherapie, Nieuwegein, NL

Inhaltsverzeichnis

I Theorie

1	Anatomische und physiologische Grundlagen	3
1.1	Atmungssystem	4
1.1.1	Der Brustkorb (knöcherner Thorax)	4
1.1.2	Die Lunge (Pulmo) und das Brustfell (Pleura)	5
1.1.3	Ausgewählte wichtige Atemmuskeln	6
1.1.4	Die Atemwege	8
1.2	Atemmechanik	12
1.2.1	Der Atemzyklus	12
1.2.2	Die Atemruhe	12
1.2.3	Die Einatmung (Inspiration)	12
1.2.4	Die Ausatmung (Expiration)	13
1.3	Gas Austausch	13
1.3.1	Diffusion	13
1.3.2	Lungenbelüftung	14
1.3.3	Lungendurchblutung	14
1.3.4	Ventilations-Perfusions-Verhältnis	15
1.4	Atemregulation	15
1.5	Atemarbeit	16
1.5.1	Elastische Widerstände (Compliance)	16
1.5.2	Atemwegswiderstand (Resistance)	17
1.5.3	Druckschwankungen in den Atemwegen	17
1.6	Reinigungsmechanismen der Lunge	18
1.6.1	Mukoziliare Clearance	18
1.6.2	Husten	18
1.7	Lungenvolumina und Lungenkapazitäten	19
1.7.1	Atemruhelage und Atemmittellage	20
1.7.2	Lungenfunktionsuntersuchung	20
2	Wirkungsprinzipien	23
2.1	Schwerkraft	24
2.1.1	Der Einfluss der Schwerkraft auf die Lungenperfusion und -ventilation	24
2.1.2	Der Einfluss der Schwerkraft auf den Sekrettransport in der Lunge	24
2.1.3	Der Einfluss der Schwerkraft auf andere Organe	24
2.2	Strömungsgeschwindigkeit der Luft in der Lunge	24
2.3	Bronchialkaliberschwankungen	25
2.4	Vibrationen und Klopfungen	25
2.5	Körperliche Belastung	25
2.6	Ausdauertraining	25
2.7	Krafttraining	26
2.8	Entspannung	26
2.8.1	Neuromuskuläre Veränderungen	26
2.8.2	Kardiovaskuläre Veränderungen	26
2.8.3	Respiratorische Veränderungen	26
2.8.4	Elektrodermale Veränderungen	26
2.8.5	Zentralnervöse Veränderungen	26
2.8.6	Psychische Ebene	27

3	Indikationen	29
3.1	Leitsymptome	30
3.2	Kontraindikationen	30
4	Der Erfahrbare Atem nach Ilse Middendorf	31
4.1	Drei Formen des Atmens	32
4.1.1	Die unbewusste Atemfunktion: das Sein im Nichtwissen	32
4.1.2	Die willkürliche Atemführung: das Tun von außen nach innen	32
4.1.3	Der Erfahrbare Atem: Bewusst-Sein in beruhter Bewegung, Bewusst-Sein in bewegter Ruhe	32
4.2	Übungseinheiten	33
4.2.1	Erste Einheit: Vom Denken zum Empfinden	33
4.2.2	Zweite Einheit: Von der Kontrolle zum Zulassen des Atmens	40
4.2.3	Dritte Einheit: Der Atem bewegt	45
II	Praxis	
5	Der Befund	55
5.1	Das Befundformular	56
5.2	Erläuterungen zum Atembefund	61
5.3	Möglicher Ablauf der Befundaufnahme	71
5.4	Ergänzende Befundmöglichkeiten im Rahmen der Rehabilitation (Leistungstests)	76
5.4.1	Laufband	76
5.4.2	Fahrradergometer	76
5.4.3	Step-Test	77
5.4.4	12-Minuten-Gehtest, 6-Minuten-Gehtest	77
5.4.5	Shuttle-Walk-Test (SWT)	77
5.4.6	Assessment der gesundheitsspezifischen Lebensqualität	77
6	Der Behandlungsplan	79
7	Maßnahmen	83
7.1	Behandlungsziel: Verbesserung der Beweglichkeit	85
7.1.1	Liste der Maßnahmen	85
7.1.2	Verbesserung der Beweglichkeit im Liegen	86
7.1.3	Verbesserung der Beweglichkeit im Vierfüßlerstand	91
7.1.4	Verbesserung der Beweglichkeit im Sitzen	94
7.2	Behandlungsziel: Verbesserung der Atembewegung	100
7.2.1	Liste der Maßnahmen	100
7.2.2	Wahrnehmen der Atembewegung	101
7.2.3	Verbesserung der Atembewegung bei der Einatmung, aktiv	102
7.2.4	Verbesserung der Atembewegung bei der Einatmung, passiv unterstützt	103
7.2.5	Verbesserung der Atembewegung bei der Ausatmung, aktiv	105
7.2.6	Verbesserung der Atembewegung bei der Ausatmung, passiv unterstützt	107
7.3	Behandlungsziel: Ausgleichen des Atemrhythmus	109
7.3.1	Liste der Maßnahmen	109
7.3.2	Ausgleichen des Atemrhythmus, aktiv	110
7.3.3	Ausgleichen des Atemrhythmus, passiv	111
7.3.4	Atem und Hand (nach I. Middendorf)	112
7.4	Behandlungsziel: Kräftigung der Atemmuskulatur	116
7.4.1	Liste der Maßnahmen	116
7.4.2	Kräftigung der Einatemmuskulatur	117
7.4.3	Kräftigung der Ausatemmuskulatur	119

7.5	Behandlungsziel: Unterstützung der bronchialen Reinigung	121
7.5.1	Liste der Maßnahmen	121
7.5.2	Sekretlösung und Sekrettransport	122
7.5.3	Lagerungen	126
7.5.4	Sekretlösende Selbsthilfetechnik	128
7.5.5	Hustentechniken und Hustenhilfen	129
7.6	Behandlungsziel: Weithalten der Atemwege	134
7.6.1	Liste der Maßnahmen	134
7.6.2	Weithalten der Atemwege durch Körperstellungen	135
7.6.3	Weithalten der Atemwege durch Atemtechniken	138
7.7	Behandlungsziel: Verbesserung der Belastbarkeit	141
7.7.1	Liste der Maßnahmen	141
7.7.2	Verbesserung der Belastbarkeit durch Ökonomisierung von Bewegungen	142
7.7.3	Verbesserung der Belastbarkeit durch Steigern der Ausdauer	147
7.7.4	Verbesserung der Belastbarkeit durch Steigern der Kraft	152
7.8	Behandlungsziel: Verbesserung der Entspannungsfähigkeit	157
7.8.1	Liste der Maßnahmen	157
8	Ergänzende Maßnahmen	165
8.1	Maßnahmen der Hydrotherapie	166
8.1.1	Liste der Maßnahmen	167
8.2	Maßnahmen der klassischen Massage	169
8.2.1	Liste der Maßnahmen	169
8.2.2	Streichungen	170
8.2.3	Knetungen	172
8.2.4	Zirkelungen	173
8.2.5	Packgriffe	175
8.3	Übungen mit dem Pezziball in Anlehnung an FBL (Klein-Vogelbach)	176
8.3.1	Liste der Maßnahmen	176
8.4	Übungen aus dem PNF-Konzept	185
8.4.1	Liste der Maßnahmen	185
8.4.2	Fazilitation der Atmung	186
8.4.3	Fazilitation der Schulterblattbewegung	188
8.4.4	Fazilitation der Beckenbewegung	190
9	Maßnahmentabelle	191
10	Behandlungsbeispiele	195
10.1	COPD	197
10.1.1	Atembefund COPD	197
10.1.2	Behandlungsplan COPD	201
10.1.3	Dokumentation dieser Behandlung in Krankenblatt oder Patientenkartei	202
10.1.4	Übersicht über die patientengeeigneten Maßnahmen	202
10.2	Asthma bronchiale	203
10.2.1	Atembefund Asthma bronchiale	203
10.2.2	Behandlungsplan Asthma	207
10.2.3	Dokumentation dieser Behandlung in Krankenblatt oder Patientenkartei	208
10.2.4	Übersicht über die patientengeeigneten Maßnahmen	208
10.3	Zustand nach Lungentransplantation	209
10.3.1	Atembefund Z.n. Lungentransplantation	209
10.3.2	Behandlungsplan Z.n. Lungentransplantation	213
10.3.3	Dokumentation dieser Behandlung in Krankenblatt oder Patientenkartei	214
10.3.4	Übersicht über die patientengeeigneten Maßnahmen	214

10.4	Zustand nach Pneumothorax	215
10.4.1	Atembefund Z.n. Pneumothorax	215
10.4.2	Behandlungsplan Z.n. Pneumothorax	219
10.4.3	Dokumentation dieser Behandlung in Krankenblatt oder Patientenkartei	220
10.4.4	Übersicht über die patientengeeigneten Maßnahmen	220
11	Physiotherapeutische Hilfsmittel	221
11.1	Peak-Flow-Meter	224
11.1.1	Aufbau	224
11.1.2	Anwendung	224
11.1.3	Einsatzgebiet	224
11.1.4	Digitale Geräte	225
11.2	VRP 1® Flutter	226
11.2.1	Aufbau	226
11.2.2	Wirkung	226
11.2.3	Anwendung	227
11.2.4	Einstellmöglichkeiten	227
11.3	RC-Cornet®	228
11.3.1	Aufbau	228
11.3.2	Wirkung	228
11.3.3	Anwendung	229
11.3.4	Einstellmöglichkeiten	230
11.3.5	Kombinationsmöglichkeiten	230
11.3.6	RC-Cornet® PLUS	230
11.4	PEP-Maske	231
11.4.1	Aufbau	231
11.4.2	Wirkung	231
11.4.3	Anwendung	231
11.4.4	Einstellungsmöglichkeiten	231
11.5	Triflo II®	232
11.5.1	Aufbau	232
11.5.2	Wirkung	232
11.5.3	Anwendung	232
11.5.4	Einstellmöglichkeiten	232
11.6	Threshold® IMT	233
11.6.1	Aufbau	233
11.6.2	Wirkung	233
11.6.3	Anwendung	233
11.6.4	Einstellmöglichkeiten	233
11.6.5	Kombinationsmöglichkeiten	233
11.7	YPSI Atemtrainer-Set	234
11.7.1	Aufbau	234
11.7.2	Wirkung	234
11.7.3	Anwendung	234
11.7.4	Einstellmöglichkeiten	234
	Serviceteil	235
	Glossar	236
	Literatur	238
	Stichwortverzeichnis	240

Abkürzungsverzeichnis

AA	Ausatmung	HZ	Handzeichen
ABD	Abduktion	ICD	International Classification of Diseases
ACBT	Active Cycle of Breathing Technique	ICF	International Classification of Functioning, Disability and Health
ACVB	Arteriocoronarer Venenbypass	IRO	Innenrotation
AD	Autogene Drainage	LAT EXT	Lateralextension
ADD	Adduktion	LAT FLEX	Lateralflexion
ADL	Activity of Daily Life	LWS	Lendenwirbelsäule
ARO	Außenrotation	M.	Musculus
ASTE	Ausgangsstellung	Mm.	Musculi
BL	Bauchlage	PEP	Positive Expiratory Pressure
BWK	Brustwirbelkörper	p. OP	postoperativ
BWS	Brustwirbelsäule	RL	Rückenlage
EA	Einatmung	ROT	Rotation
EEG	Elektroenzephalogramm	SL	Seitenlage
ESTE	Endstellung	SWT	Shuttle-Walk-Test
EXT	Extension	WS	Wirbelsäule
FBL	Funktionelle Bewegungslehre	Z. n.	Zustand nach
FLEX	Flexion		
GOLD	Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease		
HWS	Halswirbelsäule		

Theorie

- Kapitel 1 Anatomische und physiologische Grundlagen – 3
- Kapitel 2 Wirkungsprinzipien – 23
- Kapitel 3 Indikationen – 29
- Kapitel 4 Der Erfahrbare Atem nach Ilse Middendorf – 31

Anatomische und physiologische Grundlagen

1.1 Atmungssystem – 4

- 1.1.1 Der Brustkorb (Thorax) – 4
- 1.1.2 Die Lunge (Pulmo) und das Brustfell (Pleura) – 5
- 1.1.3 Ausgewählte wichtige Atemmuskeln – 6
- 1.1.4 Die Atemwege – 8

1.2 Atemmechanik – 12

- 1.2.1 Der Atemzyklus – 12
- 1.2.2 Die Atemruhe – 12
- 1.2.3 Die Einatmung (Inspiration) – 12
- 1.2.4 Die Ausatmung (Expiration) – 13

1.3 Gasaustausch – 13

- 1.3.1 Diffusion – 13
- 1.3.2 Lungenbelüftung – 14
- 1.3.3 Lungendurchblutung – 14
- 1.3.4 Ventilations-Perfusions-Verhältnis – 15

1.4 Atemregulation – 15

1.5 Atemarbeit – 16

- 1.5.1 Elastische Widerstände (Compliance) – 16
- 1.5.2 Atemwegswiderstand (Resistance) – 17
- 1.5.3 Druckschwankungen in den Atemwegen – 17

1.6 Reinigungsmechanismen der Lunge – 18

- 1.6.1 Mukoziliare Clearance – 18
- 1.6.2 Husten – 18

1.7 Lungenvolumina und Lungenkapazitäten – 19

- 1.7.1 Atemruhelage und Atemmittellage – 20
- 1.7.2 Lungenfunktionsuntersuchung – 20

1.1 Atmungssystem

Lernziele

Kenntnisse über:

- Aufbau und Funktion von Brustkorb und Lunge
- die an der Atmung beteiligten Muskeln
- den Aufbau der Atemwege und der Alveolen

Zum Atmungssystem zählen alle Organe, die an der äußeren Atmung beteiligt sind. Als äußere Atmung bezeichnet man den Sauerstoff- und Kohlendioxidaustausch zwischen der Atemluft und dem Blut des Lungenkreislaufs. **Innere Atmung** wird der Gasaustausch von Kohlendioxid (CO₂) und Sauerstoff (O₂) zwischen dem Kapillarblut des Körperkreislaufs und dem Gewebe genannt.

Das Atmungssystem besteht aus der Nase, den Nasennebenhöhlen, dem Rachen (Pharynx), dem Kehlkopf (Larynx), der Luftröhre (Trachea) und den Lungen mit Bronchialbaum und Alveolarregion. Beim Atmungsvorgang spielen als weitere Strukturen das Zwerchfell (Diaphragma), das Brustfell (Pleura), der knöcherne Brustkorb (Thorax), die Thoraxwand und alle Muskeln, die das Heben und Senken der Rippen bei der Ein- und Ausatmung ermöglichen, eine wichtige Rolle. Zusätzlich sind an der forcierten Ausatmung die Muskeln der anterolateralen Bauchwand beteiligt. Einige Halsmuskeln wirken bei der Einatmung als Atemhilfsmuskeln.

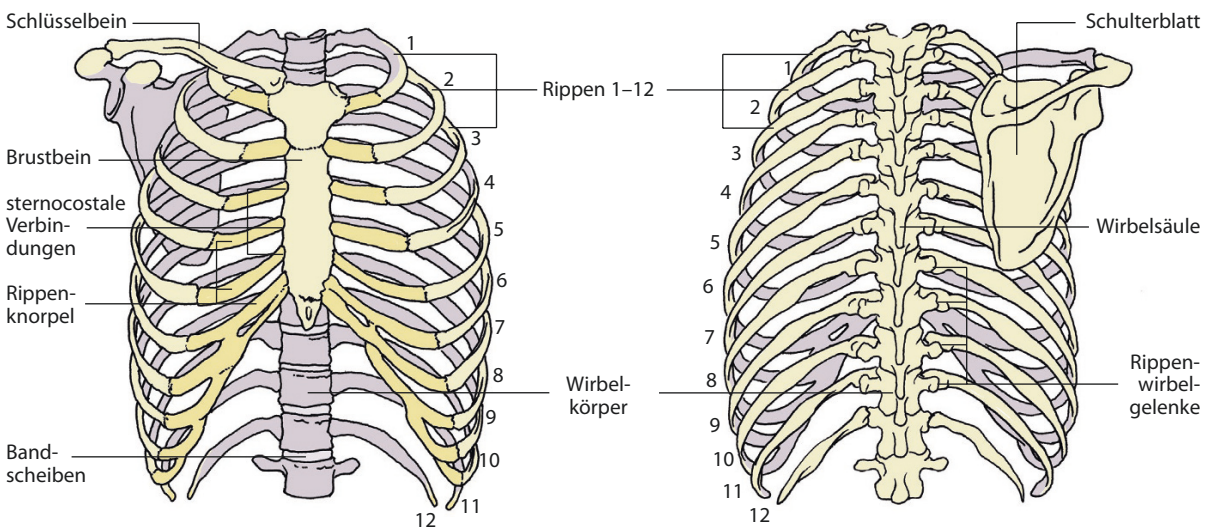
1.1.1 Der Brustkorb (Thorax)

Am Aufbau des Brustkorbs sind zwölf Brustwirbel (Vertebrae thoracicae), ihre Bandscheiben (Disci interverte-

brales), das Brustbein (Sternum) sowie zwölf Rippenpaare (Costae) beteiligt (■ Abb. 1.1 und ■ Abb. 1.2).

Der Brustkorb umschließt die Thoraxhöhle (Cavum thoracis) mit seiner dorsalen und ventralen Wand sowie seinen lateralen Wänden. Die obere Thoraxöffnung (Apertura thoracis superior) ist deutlich enger als der untere Thoraxrand (Apertura thoracis inferior). Die Rippen bestehen jeweils aus einem knöchernen und einem knorpeligen Teil. Die Form des knöchernen Teils entspricht symmetrisch angeordneten, unregelmäßig gekrümmten Spangen. Die erste und die zwölfte Rippe stehen dorsal mit einem Brustwirbelkörper, die zweite bis elfte Rippe mit zwei Brustwirbelkörpern in gelenkiger Verbindung. Der knorpelige Teil der ersten sieben Rippen ist jeweils gelenkig direkt mit dem Brustbein verbunden. Die achte, neunte und zehnte Rippe sind nur indirekt mit dem Brustbein verbunden, denn ihr knorpeliger Teil legt sich jeweils dem nächsthöheren an und bildet so den Rippenbogen. Die elfte und zwölfte Rippe enden frei.

Bei der Atmung kommt es zu einer Erweiterung und Verengung des Thorax. Der Bewegungsablauf der Rippen um ihre Rotationsachse erklärt, dass sich bei der Rippenhebung der Brustkorb sowohl in transversaler als auch in sagittaler Ebene erweitert. Bei der Einatmung bewegen sich die oberen Rippen in ventral-cranialer Richtung, die unteren Rippen in lateral-cranialer Richtung, die Brustwirbelsäule extendiert leicht. Bei der Ausatmung bewegen sich die oberen Rippen in dorsal-caudaler Richtung, die unteren Rippen in medial-caudaler Richtung, die Brustwirbelsäule flektiert leicht. Diese komplexen Bewegungen werden durch ein Zusammenwirken von Bewegungen in den Rippenwirbelgelenken und in den sternocostalen Verbindungen mit der Elastizität der Rippenknorpel ermöglicht.



■ Abb. 1.1 Brustkorb von ventral

■ Abb. 1.2 Brustkorb von dorsal

1.1.2 Die Lunge (Pulmo) und das Brustfell (Pleura)

In der **Lunge** findet die äußere Atmung, der Gasaustausch zwischen Atemluft und Blut, statt. Beide Lungenhälften sind vom Brustfell überzogen. Sie füllen die Pleurahöhlen, die mit dem mittleren Teil der Thoraxhöhle (Mediastinum) den Thoraxinnenraum gliedern, vollständig aus (Abb. 1.3 und Abb. 1.4). Die rechte Lunge wird durch tiefe Einschnitte (Fissurae lobares) in einen Ober-, einen Mittel- und einen Unterlappen geteilt. Die linke Lunge ist etwas kleiner. Sie umfasst einen Ober- und einen Unterlappen (Abb. 1.5 und Abb. 1.6). Die Spitzen des rechten und linken Lungenflügels (Apex pulmonis) reichen 2–3 cm

bis oberhalb der ersten Rippe bzw. bis zur Höhe des ersten Brustwirbels. Die Lungenbasis (Facies diaphragmatica) passt sich der Form des Zwerchfells an.

Das **Brustfell** besteht aus dem **Lungenfell** (Pleura visceralis), das den Fissuren folgend die Lunge umschließt, und dem **Rippenfell** (Pleura parietalis), das die Thoraxinnenwand auskleidet. An der **Lungenwurzel** (Hilum pulmonis), dem Eintrittsort der Bronchien sowie der Blut- und Lymphgefäße in die Lunge, gehen Rippenfell und Lungenfell ineinander über. Zwischen ihnen liegt der **Pleuraspalt**, der mit seröser Flüssigkeit gefüllt ist, sodass Brust- und Rippenfell nicht aneinander reiben. Im Pleuraspalt herrscht ein Unterdruck, durch den Lungen- und Rippenfell einander anliegen, dabei aber gegeneinander verschieblich

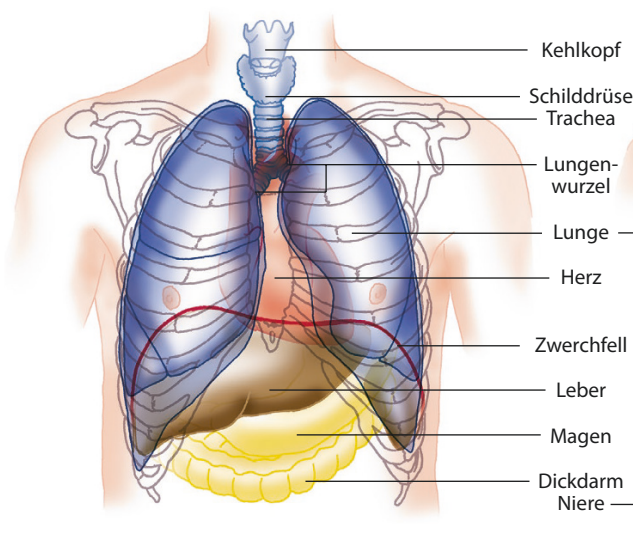


Abb. 1.3 Lage der Lunge von ventral

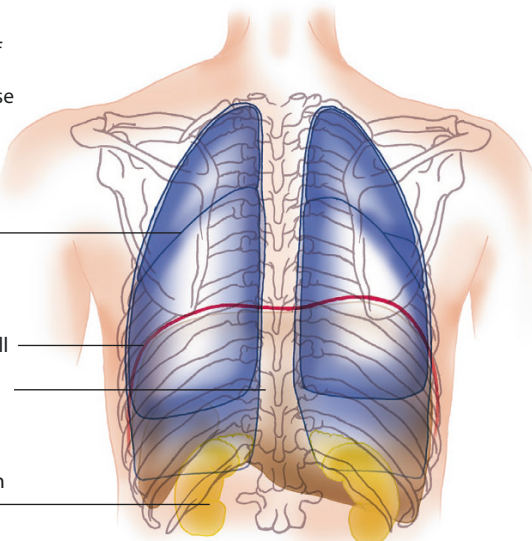


Abb. 1.4 Lage der Lunge von dorsal

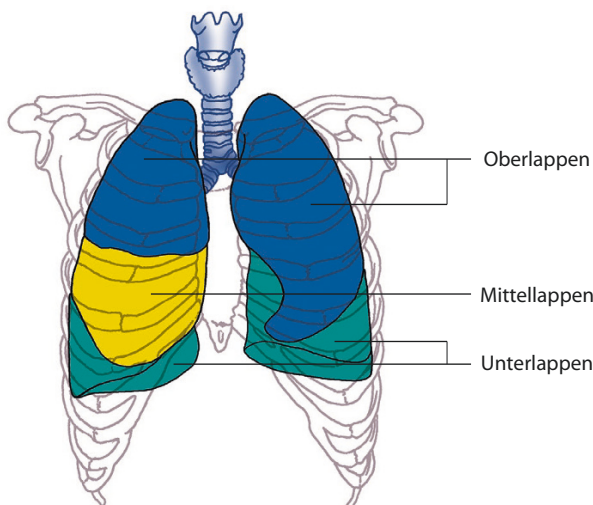


Abb. 1.5 Lage der Lungensegmente von ventral

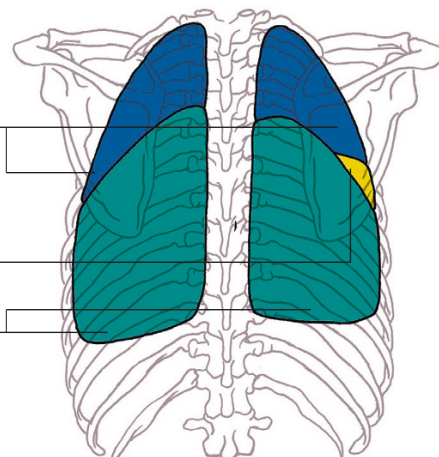
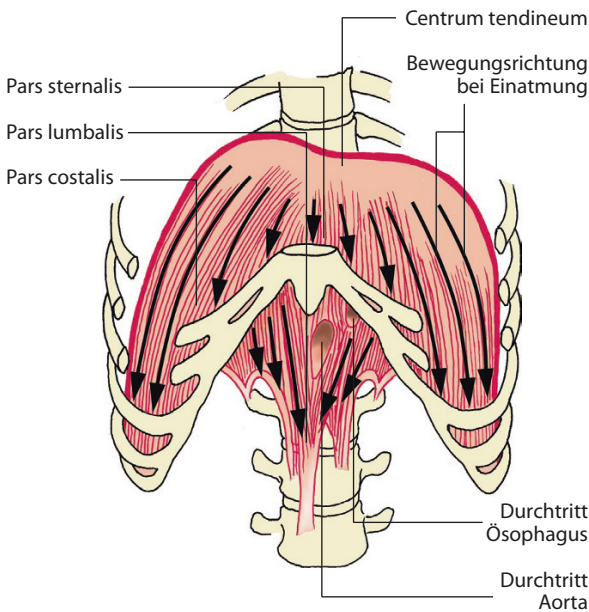
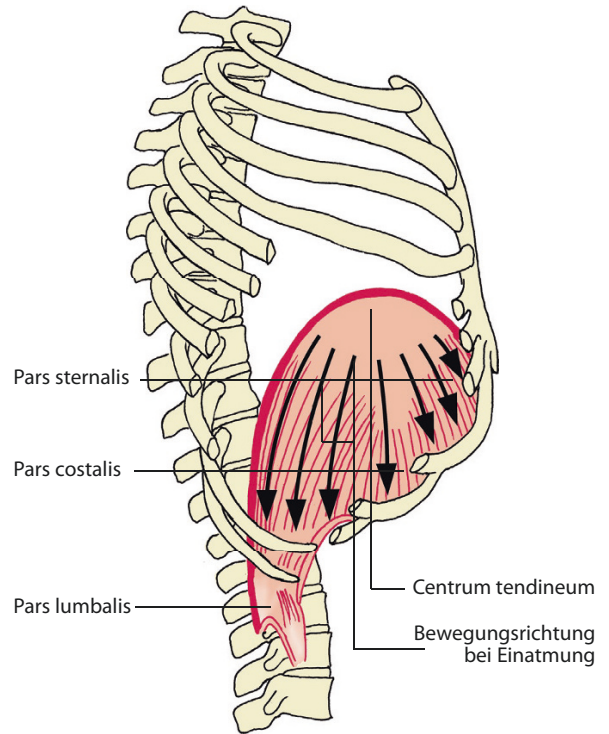


Abb. 1.6 Lage der Lungensegmente von dorsal



■ Abb. 1.7 Zwerchfell von ventral



■ Abb. 1.8 Zwerchfell von lateral

bleiben. Der Negativdruck gewährleistet, dass die Lunge jeder Formveränderung des Brustkorbs folgt.

Die Lungen reichen meist nicht so weit nach caudal wie die Pleura parietalis. Der Anteil des Rippenfells, der dem Zwerchfell aufliegt (Pleura parietalis, Pars diaphragmatica) und der an den Rippen angrenzende Teil (Pleura parietalis, Pars costalis) verlaufen im unteren Bereich parallel. Bewegt sich das Zwerchfell bei der Inspiration nach caudal, gleitet die Lunge in einen so genannten »Reserveraum« (Recessus) der Pleurahöhle und kann ihr Volumen somit ausdehnen.

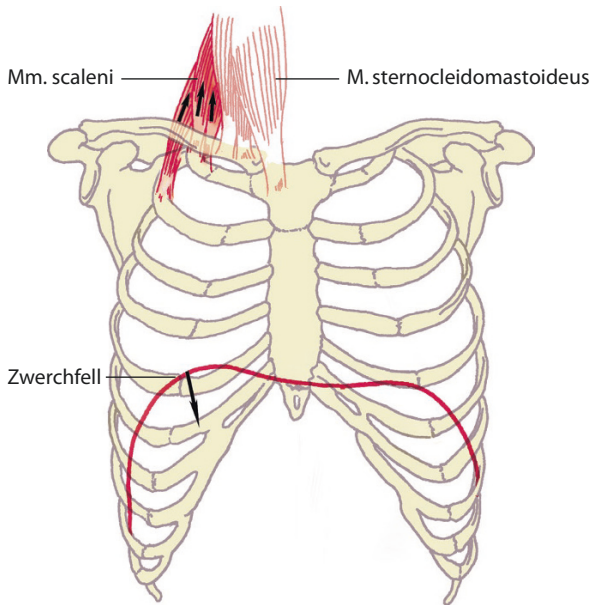
1.1.3 Ausgewählte wichtige Atemmuskeln

Inspiratorische Atemmuskeln

Die Einatmung erfolgt unter Ruhebedingungen aktiv über die inspiratorischen Atemmuskeln. Das **Zwerchfell** ist der wichtigste Inspirationsmuskel. Es trennt die Brusthöhle von der Bauchhöhle. Ursprung seiner drei muskulären Teile (Pars sternalis, Pars costalis, Pars lumbalis) ist die untere Thoraxwand und die LWS (■ Abb. 1.7 und ■ Abb. 1.8). Von diesem breiten Ursprung ziehen die Fasern zu einer zentralen Sehnenstruktur (Centrum tendineum). Im Zwerchfell befinden sich Öffnungen, die den Durchtritt der Aorta, der Vena cava inferior, der Speiseröhre (Oesophagus) und einiger Nerven bzw. Nervenfasern erlauben. Innerviert

wird das Zwerchfell von den Nervi phrenici. Während der Inspiration sinkt das Zwerchfell durch die Kontraktion seiner muskulären Anteile ab. Dabei wirkt die Pars sternalis mit ihrem Ursprung am Brustbein als *Punctum fixum*. Der Thoraxinnenraum wird vergrößert und durch den nachfolgenden Druckausgleich strömt Außenluft in die Lunge ein. Sobald das Zwerchfell in seiner Absenkung durch den Zug der Organe im Mediastinum und den Widerstand der Baucheingeweide gestoppt wird, fungiert das Centrum tendineum als *Punctum fixum*. Durch das Zusammenspiel der Intercostalmuskulatur und des Diaphragmas erfolgt das Anheben der Rippen. Dies wird als **Eimerhenkel-Bewegung** bezeichnet. Voraussetzung für diesen Effekt ist eine gute Funktion der Bauchmuskulatur. Ein geringer Bauchmuskeltonus vergrößert die Bewegung der Bauchwand zu Lasten der Eimerhenkel-Bewegung der unteren Rippen.

An der Ruheinspiration sind außerdem die Mm. scaleni beteiligt, die das erste und zweite Rippenpaar und damit den oberen Teil des knöchernen Brustkorbs anheben. Diese Bewegung nach ventral und cranial wird als **Pumpschwenkel-Bewegung** bezeichnet. Die Inspirationsfunktion der Mm. scaleni kann durch leichtes Zurückbeugen des Halses verstärkt werden (■ Abb. 1.9).

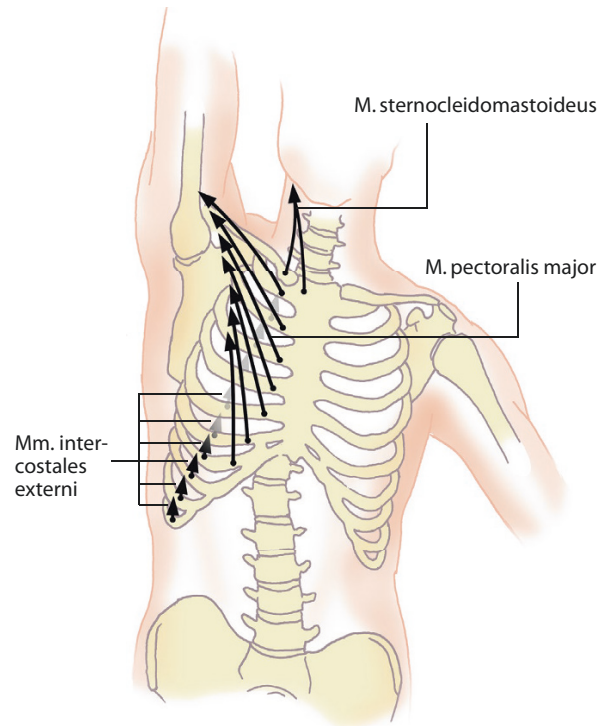


■ Abb. 1.9 Inspiratorische Atemmuskeln von ventral

Inspiratorische und expiratorische Atemhilfsmuskeln

Die Zwischenrippenmuskeln **Mm. intercostales interni**, die im Rippenknorpelbereich **Mm. intercartilaginei** genannt werden, und die **Mm. intercostales externi** sind je nach Rippenstellung an der inspiratorischen (**Mm. intercostales externi** und **Mm. intercostales interni**, Pars intercartilaginei) bzw. expiratorischen Bewegung (**Mm. intercostales interni**) beteiligt. Das absolute Ausmaß ihrer Anteile an der tatsächlichen Bewegung wird in der Literatur noch diskutiert (De Troyer et al. 1985; Wilson et al. 2001). Bei Ruheatmung stabilisieren die **Mm. intercostales interni** et **externi** den Brustkorb als Haltemuskeln und tragen zu den Rumpfbewegungen bei. Weiterhin können bei forcierter Inspiration verschiedene Rumpfmuskeln die Vergrößerung des Thoraxinnenraums verstärken. Ist der Schultergürtel fixiert, z. B. durch aufgestützte Arme, wirkt der **M. pectoralis major** durch Vertauschung von **Punctum fixum** und **Punctum mobile** inspiratorisch.

Der **M. sternocleidomastoideus** kann bei vollständiger Ruhehaltung des Kopfes die Inspiration durch Heben des Brustbeins unterstützen. Er wird nur atemwirksam, wenn die Intercostalmuskulatur gelähmt oder ausgeschaltet ist (■ Abb. 1.10).



■ Abb. 1.10 Funktion inspiratorischer Atemhilfsmuskeln von ventral

Memo

Inspiratorische Atemmuskeln:

- Diaphragma
- Mm. scaleni

Inspiratorische Atemhilfsmuskeln:

- Mm. intercostales externi
- Mm. intercostales interni, Pars intercartilaginei
- M. pectoralis major
- M. sternocleidomastoideus

Die Ausatmung erfolgt in Ruhe passiv durch die Retraktionskraft der Lunge und das Nachlassen der Spannung von Diaphragma und der **Mm. scaleni**. In der Aufrichtung wirkt zusätzlich die Schwerkraft, die Rippen sinken durch ihr eigenes Gewicht. Bei verstärkter Ausatmung durch Belastung, bei Behinderung der Expiration, beim Sprechen, Singen, Husten, Niesen oder Lachen wird die Ausatmung aktiv durch die expiratorischen Atemhilfsmuskeln unterstützt.

Die **Muskeln der Bauchwand** (**M. rectus abdominis**, **Mm. obliqui externus et internus abdominis** und **M. transversus abdominis**) sind sehr kräftige Muskeln, mit deren Hilfe der intraabdominale Druck erhöht wird und forciert ausatmet werden kann (■ Abb. 1.11).

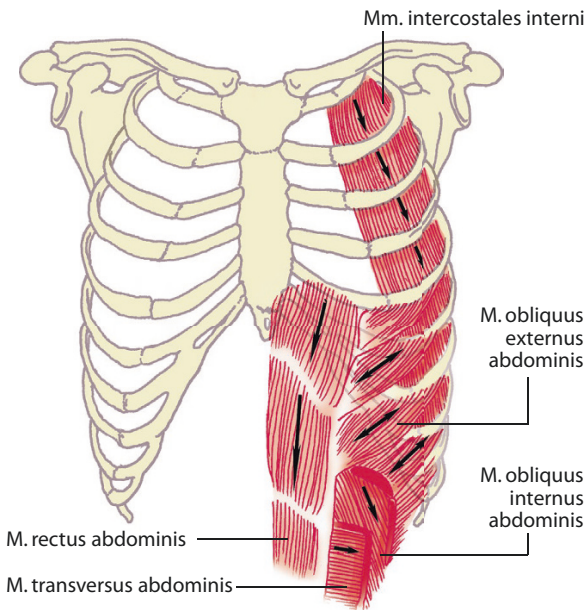


Abb. 1.11 Expiratorische Atemmuskeln von ventral

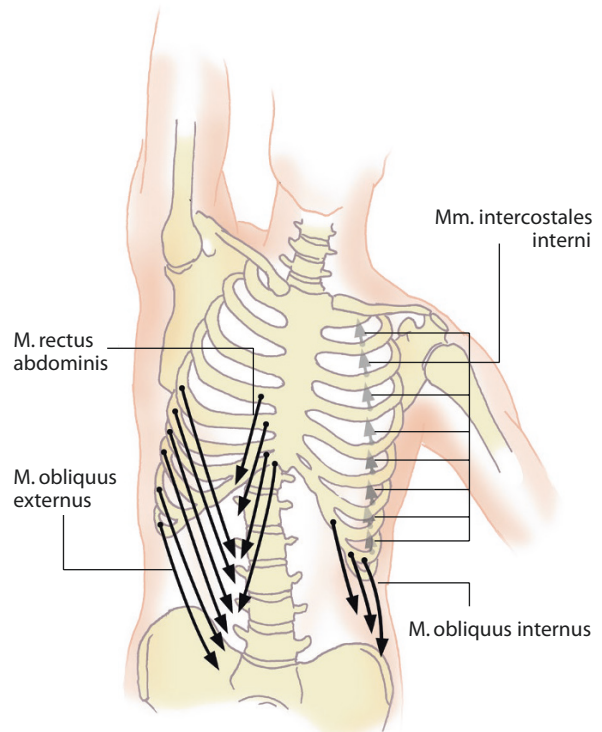


Abb. 1.12 Funktion expiratorischer Atemhilfsmuskeln von ventral

Die sich kontrahierenden Bauchmuskeln senken den unteren Thoraxrand. Der transversale und der sagittale Durchmesser des Bauchraums werden verkleinert. Der hohe intraabdominale Druck verlagert die Baueingeweide nach cranial, sie schieben das Diaphragma in Richtung Thorax (Expirationsstellung). Hierdurch wird das Zwerchfell gedehnt und kann in der folgenden Inspiration mehr Kraft entwickeln. Die Mm. intercostales interni senken die Rippen bei forcierter Expiration (Abb. 1.12).

Rachen ist der Durchtrittsort für Nahrung und Luft. Die **unteren Luftwege** befinden sich in Hals und Thorax. Sie werden vom Kehlkopf, der Luftröhre, den Bronchien und den Lungen gebildet (Abb. 1.13 und Abb. 1.14).

Der **Kehlkopf** spielt eine Rolle als Stimmbildungsort. Die Stimmritze (Rima glottidis) im Kehlkopfapparat wird beim Schluckvorgang und vor einem Hustenstoß reflektorisch geschlossen.

Memo
Expiratorische Atemhilfsmuskeln:
— Mm. intercostales interni
— M. rectus abdominis
— Mm. obliqui externus et internus abdominis
— M. transversus abdominis

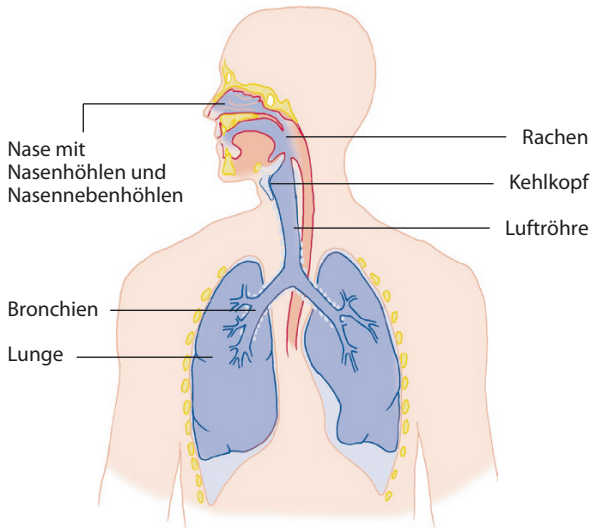
! Vorsicht
 Durch einen Stimmritzenverschluss nach der Inspiration bei Anspannung der Expirationsmuskulatur wird ein hoher intrathorakaler und intraabdominaler Druck aufgebaut. Dieses Atempressen z. B. beim Heben schwerer Lasten (Kap. 7, Abb. 7.63, »Anheben eines Gewichtes mit der Ausatmung«) und bei der Defäkation ist therapeutisch oft unerwünscht.

1.1.4 Die Atemwege

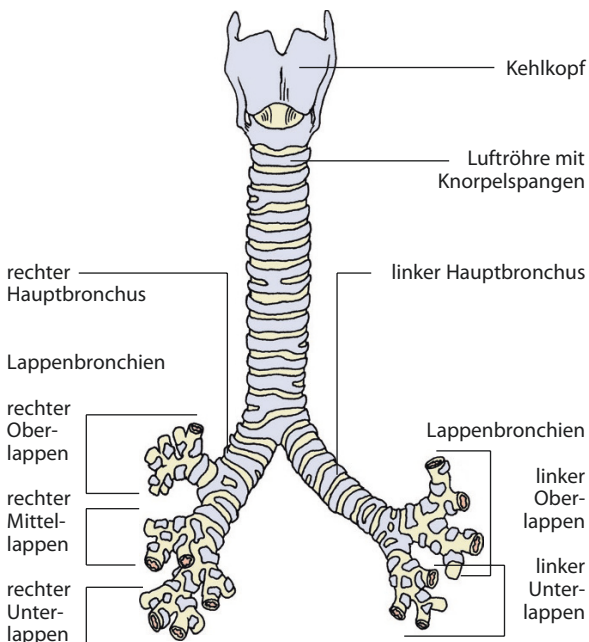
Die Atemwege oberhalb des Kehlkopfes bezeichnet man als **obere Luftwege**. Zu ihnen zählen die Nase mit den Nasenhöhlen, die Nasennebenhöhlen und der Rachen. In der Nase und den Nasennebenhöhlen wird die eingeatmete Luft gereinigt, angefeuchtet und vorgewärmt. Der

Die **Luftröhre** ist ein elastisches Rohr, das eine Längsdehnung ohne gleichzeitige Verengung möglich macht. Sie beginnt unterhalb des Kehlkopfes und teilt sich auf der Höhe des vierten Brustwirbels in der Luftröhrengabel (Bifurcatio tracheae) in die zwei Hauptbronchien (Bronchi principales). Die Trachea wird ventral von hufeisenförmigen Knorpelspangen gestützt. Die Hinterwand wird von glatten Muskelfasern und in Längsrichtung gebündelten, elastischen Fasern gebildet. In der Hinterwand finden sich viele Schleimdrüsen. Die ganze innere Schleimhautschicht

1.1 · Atmungssystem



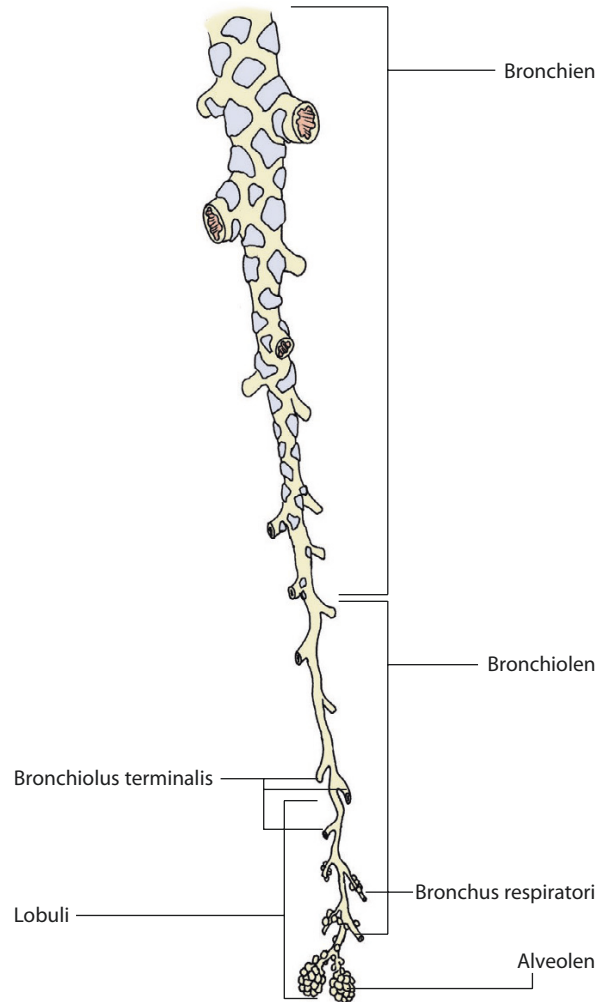
■ Abb. 1.13 Die Luftwege



■ Abb. 1.14 Trachea und Hauptbronchien

der Luftröhre trägt ein Flimmerepithel, das Schleim und eingedrungenen Staub rachenwärts transportiert.

Die zwei **Hauptbronchien** versorgen je eine Lungenhälfte. Sie besitzen ebenfalls Knorpelspangen (■ Abb. 1.14). An der Lungenwurzel teilt sich der rechte Hauptbronchus in drei Lappenbronchien (Bronchi lobares), der linke in zwei Lappenbronchien. Die Außenwand der Lappenbronchien ist von plattenförmigen, unregelmäßig angeordneten Knorpelstücken besetzt. An der Innenseite erlaubt ein Fasernetz aus glatten Muskelfasern einen Verschluss des



■ Abb. 1.15 Gliederung des Bronchialbaums

Lumens. Im weiteren Verlauf verzweigen sich die Lappenbronchien zu Segmentbronchien (Bronchi segmentales), kleinen Bronchien und Bronchiolen. Die gesamte Wegstrecke ist mit Flimmerepithel ausgekleidet.

Im Bronchialbaum verringern sich die Knorpelplättchen zur Peripherie hin. Die Bronchiolen weisen keine Knorpelanteile mehr auf (■ Abb. 1.15). Die großen Bronchien verfügen über so viel Eigensteifigkeit, dass sie auch bei einem Lungenkollaps offen bleiben. Die kleinen Bronchien, Bronchiolen und die nachfolgenden Alveolen können jedoch kollabieren. Kollabierte Alveolen, in denen sich wenig oder keine Luft befindet, nennt man **Atelektasen**.

Als **Lobulus** bezeichnet man drei bis fünf Endverzweigungen der Bronchiolen (Bronchioli terminales), die sich in Bronchioli respiratorii und die Alveolen aufteilen. Ein **Azinus** ist die respiratorische Einheit, die von einem Bronchus terminalis versorgt wird (■ Abb. 1.16). Zwischen einzelnen Azini und Lobuli ist ein Luftübertritt über

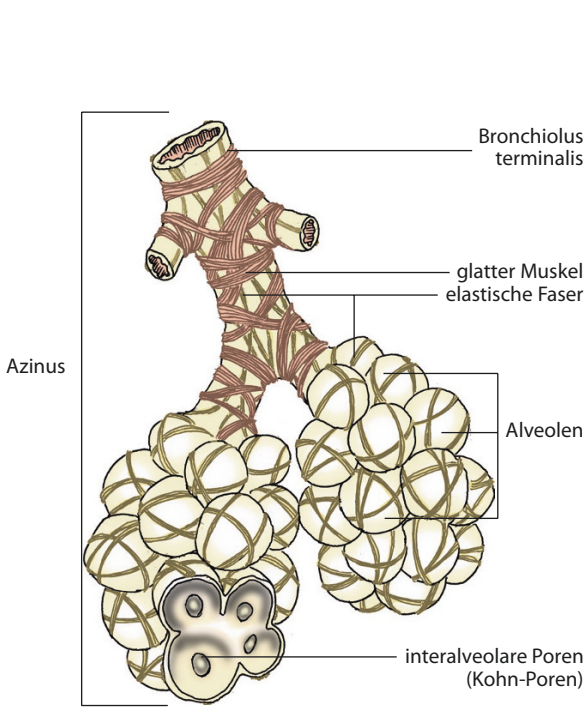


Abb. 1.16 Azinus

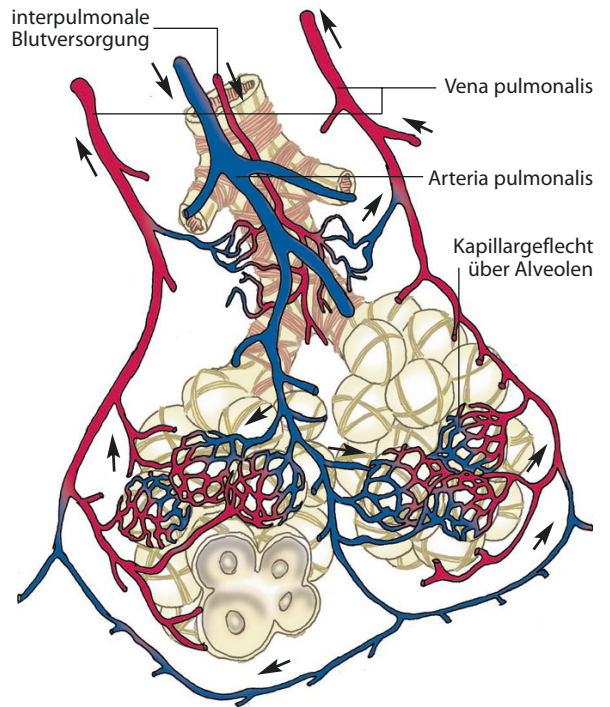


Abb. 1.17 Kapillargeflecht über den Alveolen

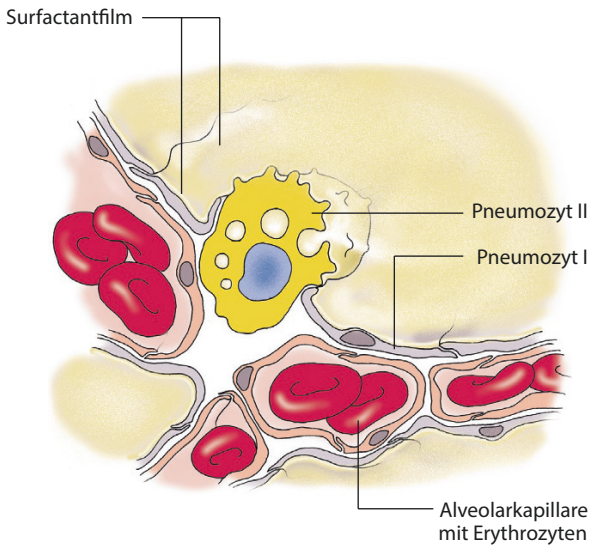


Abb. 1.18 Bildung des Surfactant

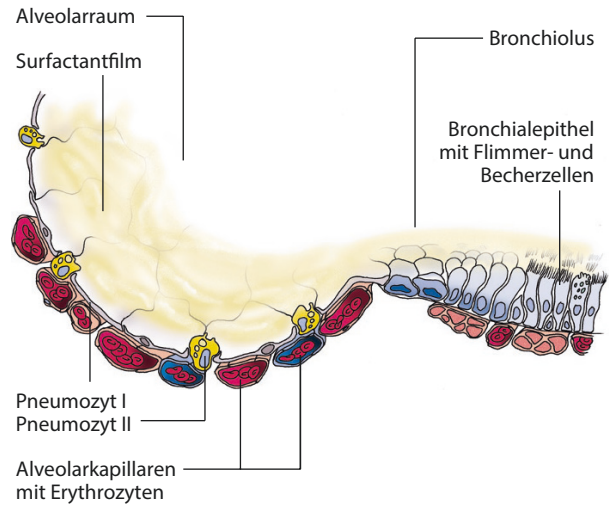


Abb. 1.19 Surfactant in der Alveole und dem Bronchiolus

interbronchiale, bronchoalveolare Kollaterale und interalveolare Kollaterale (Kohn-Poren) möglich. Die Alveolen sind von einem dichten Kapillarnetz umgeben. Hier findet der eigentliche Gasaustausch statt (■ Abb. 1.17).

Memo
<p>Obere Luftwege:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Nase mit Nasenhöhlen ■ Nasennebenhöhlen ■ Rachen <p>Untere Luftwege:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Kehlkopf ■ Luftröhre ■ Bronchien ■ Bronchiolen

Die **Alveolen** besitzen ein Stützgerüst aus elastischen Fasern. Das Alveolarepithel besteht aus Pneumozyten I und II. Die Pneumozyten vom Typ II bilden eine Substanz, welche die Oberflächenspannung herabsetzt und somit die Entfaltung der Alveole gewährleistet (■ Abb. 1.18). Dieser **Surfactant** (Kunstwort aus surface active agent = oberflächenaktive Substanz) kleidet die Alveolen gleichmäßig aus. Er begrenzt sowohl die Oberflächenvergrößerung der Alveolen (verhindert ein Platzen) als auch deren Verkleinerung. In der Inspirationsphase vergrößert sich die Gesamtoberfläche auf maximal 120 m²; in der Exspirationsphase kann sie sich auf ca. 80 m² verkleinern. Außerdem schützt der Surfactant die Alveolen vor einer Austrocknung (■ Abb. 1.19).

Zusammenfassung

Das Atmungssystem

- Das Atmungssystem ermöglicht mit seinen Organen die äußere Atmung: den Sauerstoff- und Kohlendioxidaustausch zwischen der Atemluft und dem Blut des Lungenkreislaufs.
- Beim Atmungsvorgang spielen neben den Atemwegen auch das Zwerchfell, das Brustfell, der Brustkorb und die Muskeln, die das Heben und Senken der Rippen ermöglichen, eine Rolle. Der Brustkorb umschließt die Thoraxhöhle. Bei der Atmung kommt es zu einer Erweiterung und Verengung des Thorax. Diese Bewegungen werden durch die Rippenwirbelgelenke, die sternocostalen Verbindungen und die Elastizität der Rippenknorpel ermöglicht.

- Die Thoraxinnenwand ist mit dem Rippenfell ausgekleidet; das Lungenfell umschließt die Lunge. Zwischen ihnen liegt der Pleuraspalt, der mit seröser Flüssigkeit befeuchtet ist.
- Durch den Unterdruck im Pleuraspalt folgt die Lunge den Bewegungen des Brustkorbs.
- Die Atemmuskulatur leistet die eigentliche Atemarbeit. Unter Ruhebedingungen ist die Einatmung ein aktiver Vorgang, die Ausatmung erfolgt passiv durch ein Nachlassen der Einatemmuskelspannung und die Retraktionskraft der Lunge. Ein- und Ausatmung können durch Atemhilfsmuskeln aktiv verstärkt werden.
- Durch die oberen und unteren Luftwege wird die Atemluft bis zu den Alveolen geleitet. Dort findet der eigentliche Gasaustausch statt. Im Bronchialbaum verringern sich die stützenden Knorpelanteile zur Peripherie hin. An der mukoziliären Clearance ist das Flimmerepithel, mit dem die Luftwege bis zu den Bronchiolen ausgekleidet sind, beteiligt. Der Surfactant kleidet die Alveolarinnenwand aus und verhindert das Kollabieren der Alveolen.

Überprüfen Sie Ihr Wissen

Das Atmungssystem

- Welche anatomischen Strukturen sind an der Atmung beteiligt?
- Aus welchen Anteilen besteht der knöcherne Thorax?
- In welchen Ebenen erweitert sich der Brustkorb bei der Atmung?
- Wie gliedert sich die rechte bzw. die linke Lungenhälfte?
- Beschreiben Sie Bau und Funktion der Pleura.
- Erklären Sie die Funktion des Zwerchfells.
- Welche weiteren Muskeln sind unter Belastung an der Einatmung beteiligt?
- Beschreiben Sie die Ein- bzw. Ausatmung unter Ruhebedingungen.
- Welche Rolle spielt die Bauchmuskulatur bei der Atmung?
- Nennen Sie die Bestandteile der oberen und der unteren Luftwege.
- Wann tritt ein Stimmritzenverschluss auf?
- Wie verändert sich die anatomische Struktur vom Bronchus principalis bis zum Bronchiolus terminalis?
- Was ist eine Atelektase?
- Wo wird der Surfactant gebildet?
- Welche Aufgaben hat der Surfactant?

1.2 Atemmechanik

Lernziele

Kenntnisse über:

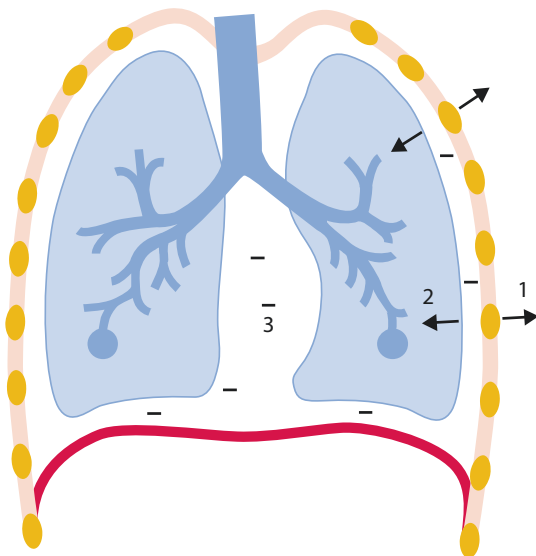
- den mechanischen Ablauf von Atemruhe, Einatmung und Ausatmung in Ruhe sowie bei körperlicher Belastung

1.2.1 Der Atemzyklus

In Ruhe besteht der Atemzyklus aus Einatmung, Ausatmung und Atemruhe. Diese drei Phasen sind annähernd gleich lang. Bei körperlicher oder psychischer Belastung verkürzt sich die Atemruhe oder verschwindet ganz. Die Veränderungen der Ein- und Ausatemphasen hängen vom Trainingszustand und dem Einsatz »erlernter Muster« ab. Beispiel eines solchen Musters ist eine willentlich verlängerte Ein- oder Ausatmung. Auch das Ausatmen gegen Widerstand wie bei der dosierten Lippenbremse (► Kap. 7, ► Abb. 7.58) verändert den Atemzyklus.

1.2.2 Die Atemruhe

Als Atemruhe (im Lungenfunktionstest: Atemruhelage) bezeichnet man die Lungen-/Brustkorbsituation zwischen Ausatmung und Einatmung (■ Abb. 1.20). Die Atemmuskeln sind entspannt. Der Druck im Tracheobronchialbaum



■ **Abb. 1.20** Thorakale Druckverhältnisse in Atemruhe. Die elastische Kraft der Thoraxwand (1) und die Retraktionskraft der Lunge (2) sind gleich groß. Sie wirken einander entgegen. Im Pleuraspalt entsteht dadurch ein negativer Druck (3). Der Alveolardruck entspricht dem atmosphärischen Druck

entspricht dem atmosphärischen Druck. Die elastische Kraft der Thoraxwand zieht nach außen und ist genauso groß wie die nach innen gerichtete elastische Kraft der Lunge (Retraktionskraft). Es findet keine Bewegung statt. Es strömt keine Luft.

1.2.3 Die Einatmung (Inspiration)

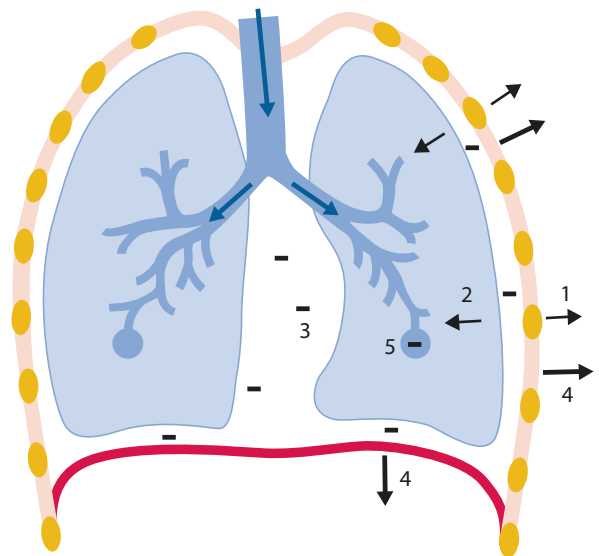
Während der Einatmung kontrahieren die Einatemmuskeln und erweitern den Brustraum.

Die Lunge ist über die Pleura mit dem Brustkorb verbunden und folgt seiner Bewegung. Dabei wird die Retraktionskraft der Lunge überwunden und ihr Volumen vergrößert sich. Die Bronchien folgen ebenfalls der Bewegung, ihr Querschnitt wird größer. Dieser Vorgang wird als **atemsynchrone Bronchialkaliberschwankung** bezeichnet.

In der Lunge entsteht ein Unterdruck, der intrapulmonale Druck wird negativ (■ Abb. 1.21). Die Luft strömt in die Lunge, bis der Druckausgleich zwischen dem intrapulmonalen und dem atmosphärischen Druck erreicht ist.

Die Einatmung bei körperlicher Belastung

Bei körperlicher Belastung erfolgt ein stärkerer Einatemimpuls vom Atemzentrum. Eine größere Brustraum-erweiterung kann durch verstärkten Einsatz der inspiratorischen Atemmuskulatur sowie der inspiratorischen



■ **Abb. 1.21** Thorakale Druckverhältnisse während der Einatmung. Die Kontraktionskraft der Einatemmuskulatur (4) wirkt zusammen mit der elastischen Kraft der Thoraxwand (1). Die Retraktionskraft der Lunge (2) wird überwunden. Der Pleuradruck (3) sinkt, der Alveolardruck (5) wird negativ. Luft strömt ein