

A photograph of a woman with blonde hair, wearing a white sleeveless top, blowing bubbles. She is holding a red and yellow bubble wand. Several bubbles are floating in the air around her. The background is a light blue gradient.

Rutte · Sturm

Atemtherapie

2. Auflage

... Sehen
... Verstehen
... Üben
... Anwenden

Physiotherapie Basics

Herausgegeben von

Udo Wolf, Frans van den Berg und Bernard C. Kolster

Springer

Berlin

Heidelberg

New York

Hongkong

London

Mailand

Paris

Tokio

Rega Rutte
Sabine Sturm

Atemtherapie

2. Auflage

Mit 483 Abbildungen und 3 Tabellen

 Springer

Rega Rutte

Frankfurterstraße 6 1/2
35037 Marburg
www.rega-rutte.de

Sabine Sturm

Hauptstraße 70
68526 Ladenburg



Sagen Sie uns Ihre Meinung zum Buch: www.springer.de/978-3-642-11315-4

ISBN 978-3-642-11315-4 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer Medizin

Springer-Verlag GmbH

Ein Unternehmen der Springer Science+Business Media

springer.de

© Springer Medizin Verlag Berlin Heidelberg 2003, 2010

Printed in Italy

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.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen, Applikationsformen und Normwerte kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Planung: Marga Botsch, Heidelberg

Projektmanagement: Natalie Brecht, Heidelberg

Gesamtherstellung: KVM Dr. Kolster Produktions- und Verlags-GmbH, Marburg

Wir danken den Firmen Richard Kaphingst GmbH, Physikalische Therapie und Rehabilitation, Marburg ; R. Cegla GmbH & Co. KG, Medizinische-Technische Geräte, Montabaur; Tyco Healthcare Deutschland GmbH, Neustadt/Donau sowie Intersport Begro, Marburg für Ihre freundliche Unterstützung.

Fotos: Peter Mertin, Cologne Enterprise Production, Köln

Grafiken und Zeichnungen: Dr. Günter Körtner, Marburg

Satz und Layout: Dr. Günter Körtner, Marburg; Katja Kubisch, Marburg

Umschlaggestaltung: deblik Berlin

SPIN 12830961

Gedruckt auf säurefreiem Papier

22/2122/cb – 5 4 3 2 1 0

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*

Reihenvorwort

Die Reihe „Physiotherapie Basics“ richtet sich in erster Linie an Physiotherapieschüler, aber auch an Physiotherapeuten in der Praxis.

Die Inhalte sind praxisorientiert aufgearbeitet. Alle Elemente der Untersuchung (z. B. Anamnese, Inspektion, Tastbefund und Funktionsuntersuchung) werden ausführlich beschrieben und erleichtern so eine optimale Befundung und Behandlung. Neben den manuellen Tests werden auch Messinstrumente und Skalen vorgestellt. Anleitungen für die Dokumentation und Interpretation der Befunde erleichtern dem Anwender den Einstieg in die Behandlung. Diese wird nach Behandlungszielen gegliedert dargestellt. Dazu bedienen wir uns des bewährten Bildatlas-Konzeptes: Die Praxis wird vorrangig über Bildsequenzen mit erklärenden Texten vermittelt.

Über das didaktische Prinzip klassischer Schulbücher hinausgehend, ist es ein Anliegen der Herausgeber, die physiotherapeutischen Verfahren zusammenhängend und anwendungsbezogen darzustellen. So soll bei der Entscheidung für eine der vielen Techniken unseres Faches eine wirkungsvolle Entscheidungshilfe für Alltagssituationen in der therapeutischen Praxis gegeben werden. Fundierte Kenntnisse über die zugrunde liegenden Wirkungsmechanismen sollen den Dialog mit dem verordnenden Arzt bereichern und zu einer Optimierung der Indikationsstellung beitragen. Sie werden in ausführlichen Theorie-Kapiteln verständlich dargelegt.

Dem Leser soll durch „Lernziele“ am Beginn und „Zusammenfassungen“ am Ende eines Kapitels eine Fokussierung auf die Essentials erleichtert werden. Wichtige Informationen werden durch optische Kästen als „Memo“ und Warnungen unter „Vorsicht“ hervorgehoben. Ferner kann das Erlernte durch die unter „Überprüfen Sie Ihr Wissen“ formulierten Fragen im Hinblick auf eine optimale Prüfungsvorbereitung rekapituliert werden.

Auch der erfahrene Praktiker kann auf unsere „Basics“ zurückgreifen, wenn er sein Wissen auffrischen und aktualisieren möchte. Zudem bietet die Reihe das nötige Know-how,

um sich die praxisrelevanten Grundlagen für verschiedene Spezialgebiete aneignen zu können. Dies gilt auch für Studenten der Bachelor-Studiengänge für Physiotherapeuten.

Um die Buchreihe optimal auf die Bedürfnisse von Schülern und Studierenden ausrichten zu können, wurde ein Schülerbeirat in die Planung eingebunden. An dieser Stelle möchten wir Martin Müller, Alice Kranenburg (Rudolf-Klapp-Schule, Marburg), Silvia Weber, Martin Dresler, Eva Maria Plack (IFBE, Marburg) sowie Antonia Stieger für ihre konstruktive Mitarbeit danken.

Marburg und Oppenheim, Dezember 2002

Udo Wolf
Frans van den Berg
Bernard C. Kolster

Vorwort

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 Unterrichtsfachs 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 krankengymnastische 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. Wir hoffen damit einen Transfer aus dem Erfahrbaren Atem für die Physiotherapie zu leisten. Dies soll letztlich dazu beitragen, dass die physiotherapeutischen Behandlungen differenzierter und damit auch erfolgreicher werden.

Unser herzlicher Dank richtet sich an Prof. Ilse Middendorf, 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.

Marburg und Heidelberg, Dezember 2002

Rega Rutte
Sabine Sturm

Inhalt

1	Anatomische und physiologische Grundlagen	1
1.1	Atmungssystem	2
1.2	Atemmechanik	11
1.3	Gasaustausch	13
1.4	Atemregulation	15
1.5	Atemarbeit	17
1.6	Reinigungsmechanismen der Lunge	19
1.7	Lungenvolumina und Lungenkapazitäten	20
2	Wirkungsprinzipien	24
2.1	Schwerkraft	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	Entspannung	27
3	Indikationen	29
3.1	Kontraindikationen	29
4	Der erfahrbare Atem nach Ilse Middendorf	33
4.1	Erste Einheit: Vom Denken zum Empfinden	34
4.2	Zweite Einheit: Von der Kontrolle zum Zulassen des Atems	41
4.3	Dritte Einheit: Der Atem bewegt	46

5	Der Befund	54
5.1	Das Befundformular	54
5.2	Erläuterungen zum Atembefund	59
5.3	Möglicher Ablauf der Befundaufnahme	71
5.4	Ergänzende Befundmöglichkeiten im Rahmen der Rehabilitation	77
6	Der Behandlungsplan	79
7	Maßnahmen	81
7.1	Verbesserung der Beweglichkeit	82
7.2	Verbesserung der Atembewegung	97
7.3	Ausgleichen des Atemrhythmus	107
7.4	Kräftigung der Atemmuskulatur	114
7.5	Unterstützung der bronchialen Reinigung	119
7.6	Weithalten der Atemwege	132
7.7	Verbesserung der Belastbarkeit	139
7.8	Verbesserung der Entspannungsfähigkeit	152
8	Ergänzende Maßnahmen	161
8.1	Maßnahmen der Hydrotherapie	162
8.2	Maßnahmen der klassischen Massage	165
8.3	Übungen mit dem Pezziball in Anlehnung an FBL (Klein-Vogelbach)	172
8.4	Übungen aus dem PNF-Konzept	181
9	Maßnahmentabelle	187
10	Behandlungsbeispiele	190
10.1	Bronchitis	190
10.2	Zustand nach Lungenembolie	196
10.3	ACVB	202
10.4	Asthma bronchiale	208

11 Physiotherapeutische Hilfsmittel 216

11.1	VRP1-Flutter®	216
11.2	RC-Cornet®	218
11.3	PEP-Maske®	220
11.4	Triflo II®	221
11.5	Threshold®	222

Anhang 223

Kontaktadressen	224
Literatur	225
Glossar	229
Befundbogen (Kopiervorlage)	232
Sachverzeichnis	237

Farbleitsystem

Theorie



- 1 Anatomische und physiologische Grundlagen
- 2 Wirkungsprinzipien
- 3 Indikationen

Praxis



- 4 Der erfahrbare Atem nach Ilse Middendorf



- 5 Der Befund
- 6 Der Behandlungsplan



- 7 Maßnahmen



- 8 Ergänzende Maßnahmen
- 9 Maßnahmentabelle
- 10 Behandlungsbeispiele
- 11 Physiotherapeutische Hilfsmittel

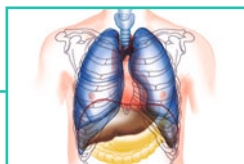
Abkürzungen

AA	Ausatmung
ABD	Abduktion
ACBT	Active Cycle of Breathing Technique
ACVB	Arterioconoronarer Venenbypass
AD	Autogene Drainage
ADD	Adduktion
ADL	Activity of Daily Life
ARO	Außenrotation
ASTE	Ausgangsstellung
BL	Bauchlage
BWK	Brustwirbelkörper
BWS	Brustwirbelsäule
EA	Einatmung
EEG	Elektroenzephalogramm
ESTE	Endstellung
EXT	Extension
FBL	Funktionelle Bewegungslehre

FLEX	Flexion
HWS	Halswirbelsäule
HZ	Handzeichen
IRO	Innenrotation
LAT EXT	Lateralextension
LAT FLEX	Lateralflexion
LWS	Lendenwirbelsäule
M.	Musculus
Mm.	Musculi
PEP	Positive Expiratory Pressure
p.OP	postoperativ
RL	Rückenlage
ROT	Rotation
SL	Seitenlage
SWT	Shuttle-Walk-Test
WS	Wirbelsäule
Z. n.	Zustand nach

Theorie

1	Anatomische und physiologische Grundlagen	1
1.1	Atmungssystem	2
1.2	Atemmechanik	11
1.3	Gasaustausch	13
1.4	Atemregulation	15
1.5	Atemarbeit	17
1.6	Reinigungsmechanismen der Lunge	19
1.7	Lungenvolumina und Lungenkapazitäten	20
2	Wirkungsprinzipien	24
2.1	Schwerkraft	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	Entspannung	27
3	Indikationen	29
3.1	Kontraindikationen	29



1 Anatomische und physiologische Grundlagen

1.1 Das 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 Kohlendioxid-austausch 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.

Der Brustkorb (knöcherner Thorax)

Am Aufbau des Brustkorbs sind zwölf Brustwirbel (Vertebrae thoracicae), ihre Bandscheiben (Disci intervertebrales), das Brustbein (Sternum) sowie zwölf Rippenpaare (Costae) beteiligt (s. **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 gelen-

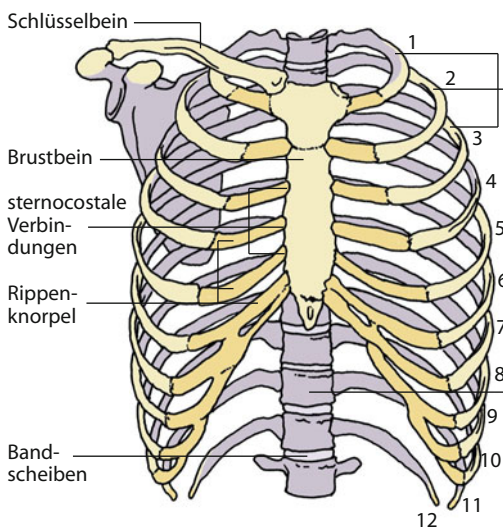


Abb. 1.1. Brustkorb von ventral

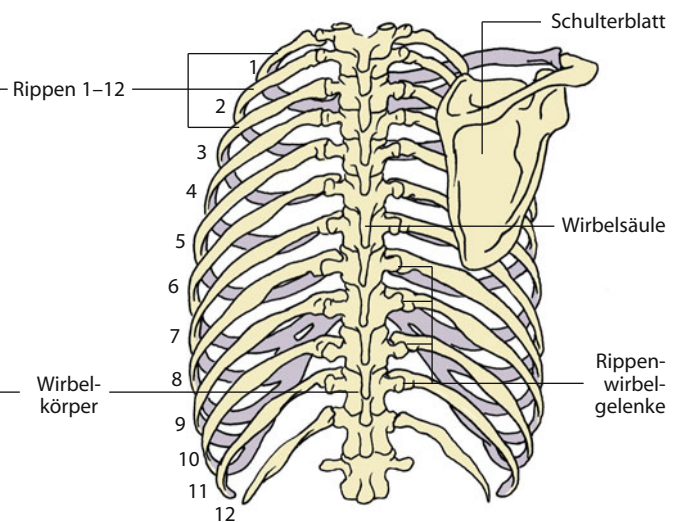


Abb. 1.2. Brustkorb von dorsal

kig 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.

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 Tho-

raxhöhle (Mediastinum) den Thoraxinnenraum gliedern, vollständig aus (s. 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 (s. 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 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 Rippen-

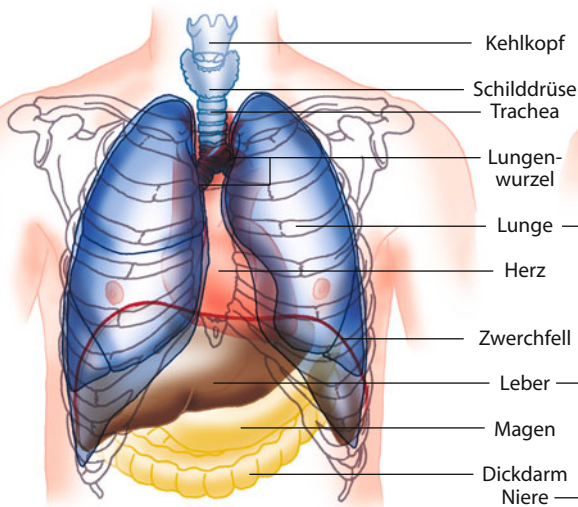


Abb. 1.3. Lage der Lunge von ventral

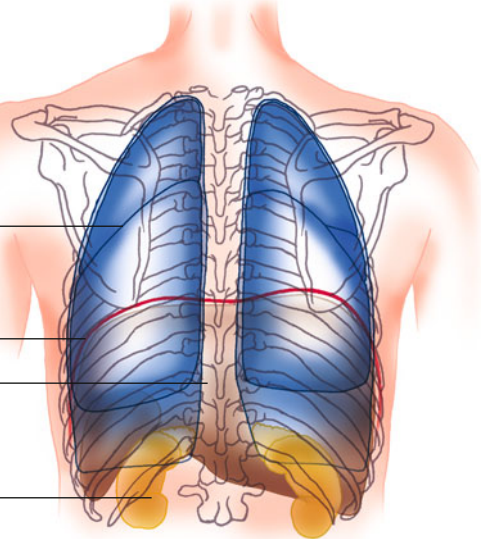


Abb. 1.4. Lage der Lunge von dorsal

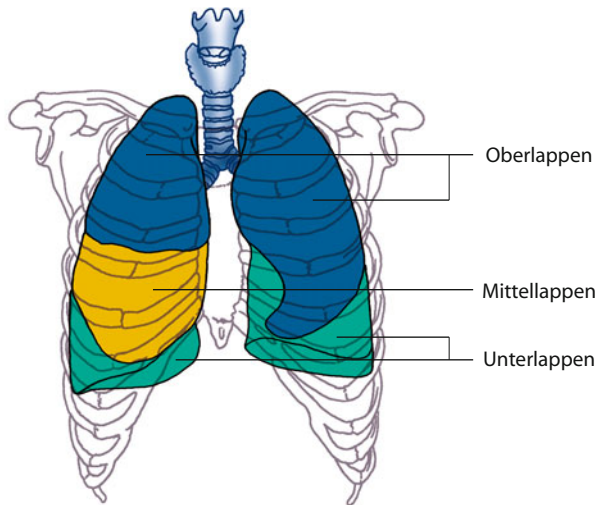


Abb. 1.5. Lage der Lungensegmente von ventral

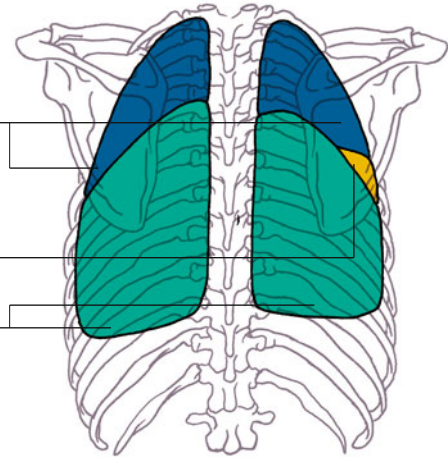


Abb. 1.6. Lage der Lungensegmente von dorsal

fells, 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 sogenannten „Reserveraum“ (Recessus) der Pleurahöhle und kann ihr Volumen somit ausdehnen.

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 (s. 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 Ruhe-Inspiration 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 **Pumpschwengel-Bewegung** bezeichnet. Die Inspirationsfunktion der Mm. scaleni kann durch leichtes Zurückbeugen des Halses verstärkt werden (s. Abb. 1.9).

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

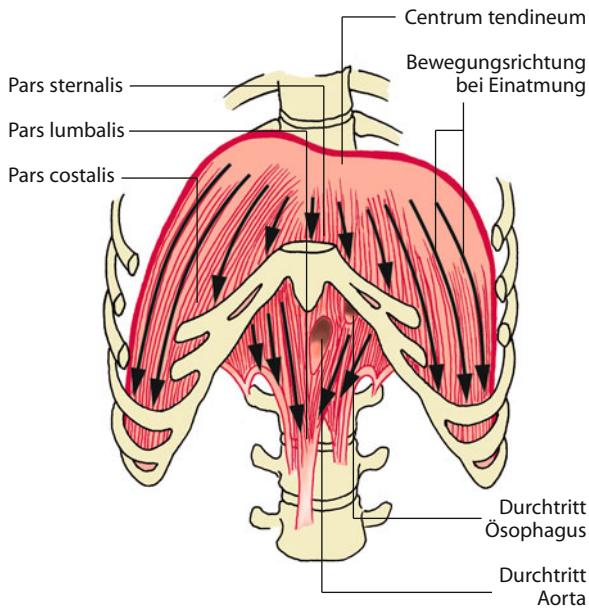


Abb. 1.7. Zwerchfell von ventral

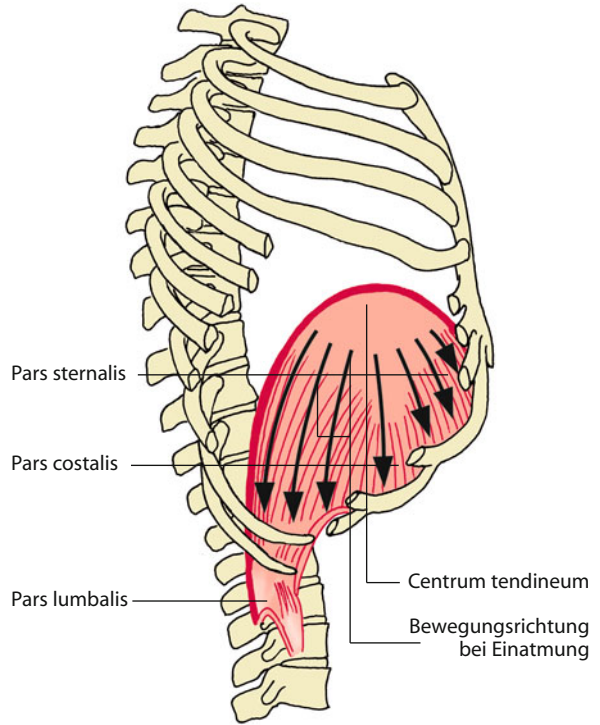


Abb. 1.8. Zwerchfell von lateral

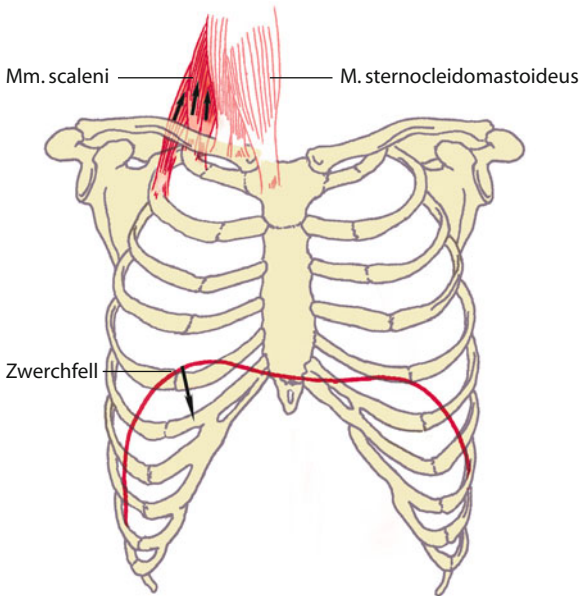


Abb. 1.9. Inspiratorische Atemmuskeln von ventral

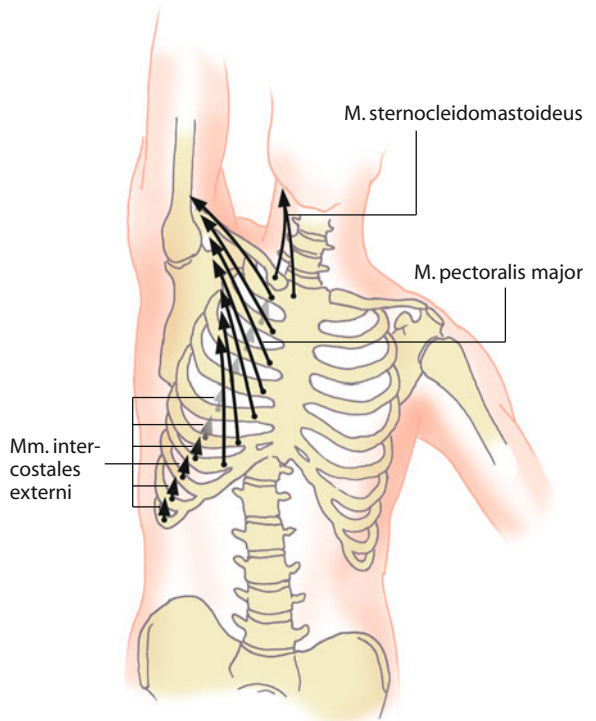


Abb. 1.10. Funktion inspiratorischer Atemhilfsmuskeln von ventral

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 (s. **Abb. 1.10**).



MEMO

inspiratorische Atemmuskeln:

- Diaphragma
- Mm. scaleni

inspiratorische Atemhilfsmuskeln:

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

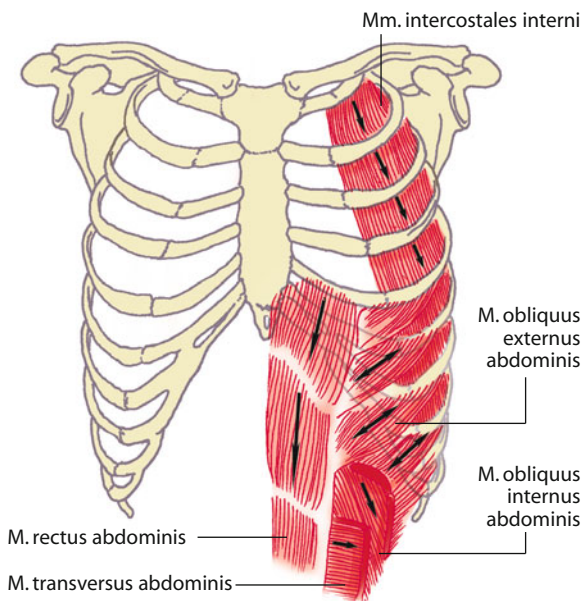


Abb. 1.11. Expiratorische Atemmuskeln von ventral

Die Ausatmung erfolgt in Ruhe passiv durch die Reaktionskraft 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 ausgeatmet werden kann (s. **Abb. 1.11**).

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

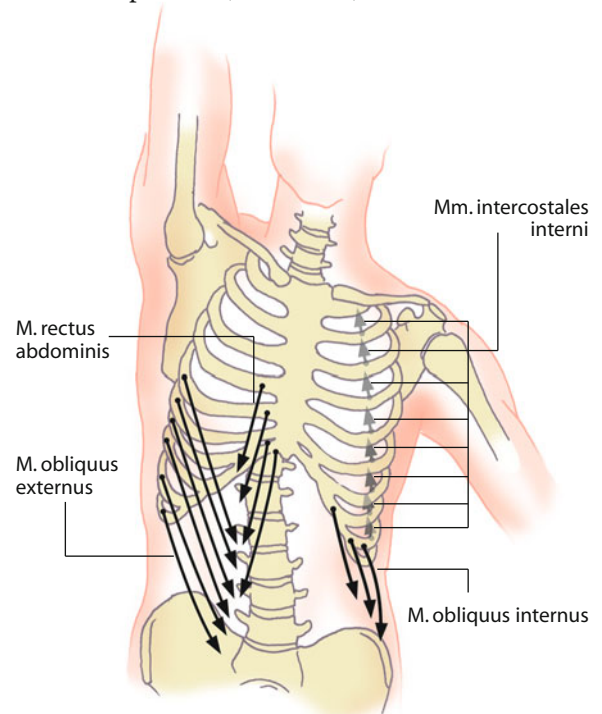


Abb. 1.12. Funktion expiratorischer Atemhilfsmuskeln von ventral



MEMO

expiratorische Atemhilfsmuskeln:

- Mm. intercostales interni
- M. rectus abdominis
- Mm. obliqui externus et internus abdominis
- M. transversus abdominis

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 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 (s. 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.

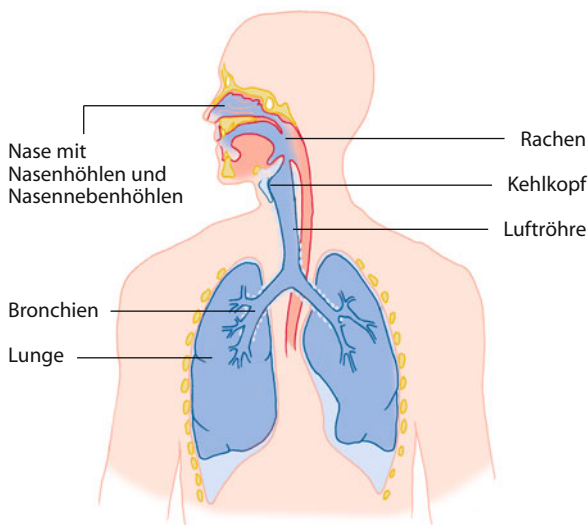


Abb. 1.13. Die Luftwege



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 (s. S. 145, Anheben eines Gewichtes mit der Ausatmung) und bei der Defäkation ist therapeutisch oft unerwünscht.



MEMO

obere Luftwege:

- Nase mit Nasenhöhlen
- Nasennebenhöhlen
- Rachen

untere Luftwege:

- Kehlkopf
- Luftröhre
- Bronchien
- Lungen

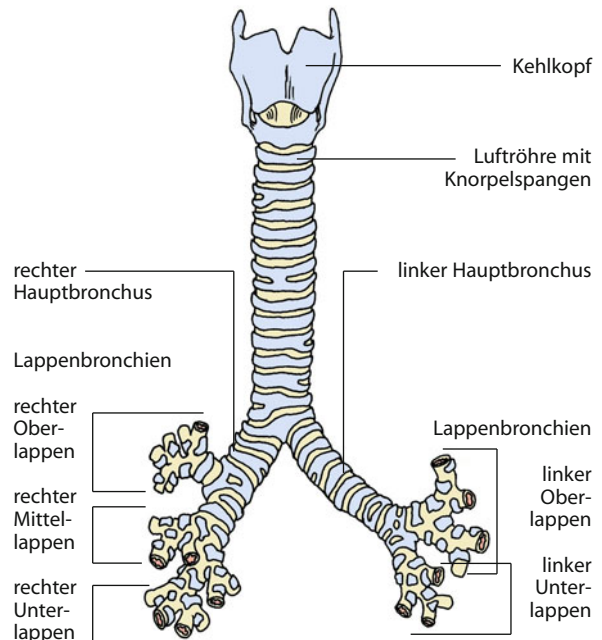


Abb. 1.14. Trachea und Hauptbronchien

Die **Luftröhre** ist ein elastisches Rohr, das eine Längsdehnung ohne gleichzeitige Verengung ermöglicht. 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 der Luftröhre trägt ein Flimmerepithel, das Schleim und eingedrungenen Staub rachenwärts transportiert.

Die zwei **Hauptbronchien** versorgen je eine Lungenhälfte. Sie besitzen ebenfalls Knorpelspangen (s. Abb. 1.14). An der Lungenwurzel teilen 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 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 (s. 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 (s. Abb. 1.16). Zwischen einzelnen Azini und Lobuli ist ein Luftübertritt über interbronchiale, bronchoalveolare Kollaterale und interalveolare Kollaterale (Kohn-Poren) möglich. Die Alveolen sind von einem dichten Kapillarnetz umgeben. Hier findet der eigentliche Gasaustausch statt (s. Abb. 1.17).

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 (s. 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 m^2 ; in der Expirationsphase kann sie sich auf ca. 80 m^2 verkleinern. Außerdem schützt der Surfactant die Alveolen vor einer Austrocknung (s. Abb. 1.19).

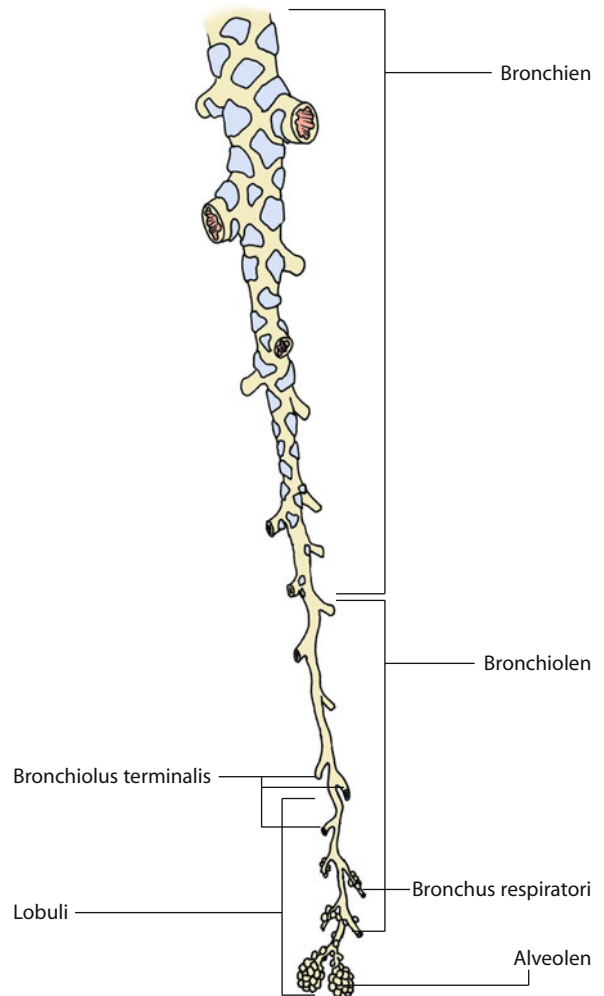


Abb. 1.15. Gliederung des Bronchialbaums

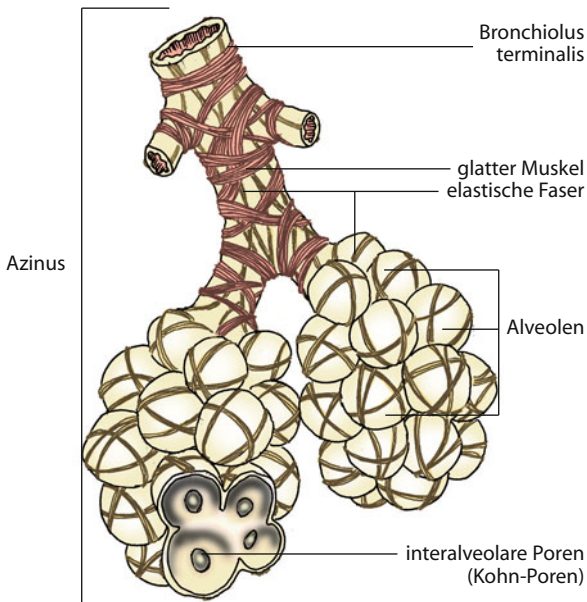


Abb. 1.16. Azinus

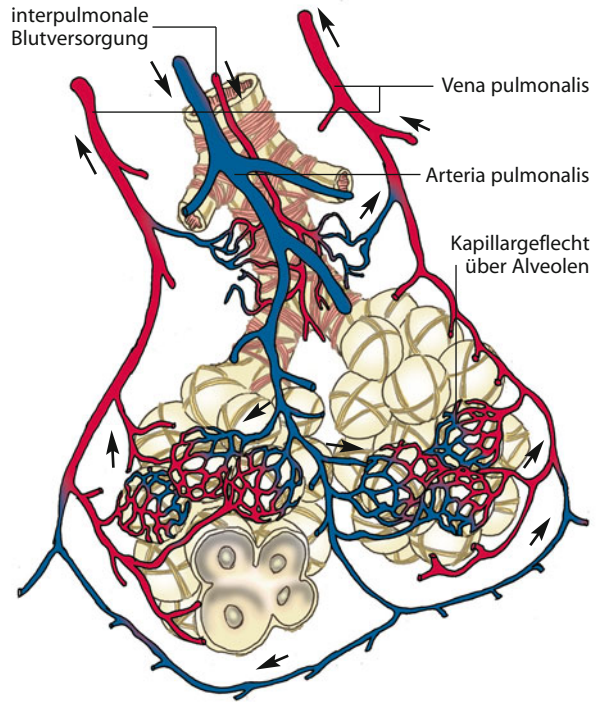


Abb. 1.17. Kapillargeflecht über den Alveolen

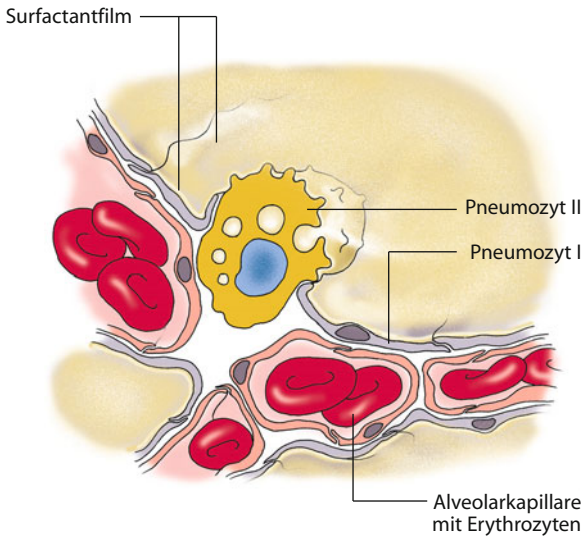


Abb. 1.18. Bildung des Surfactant

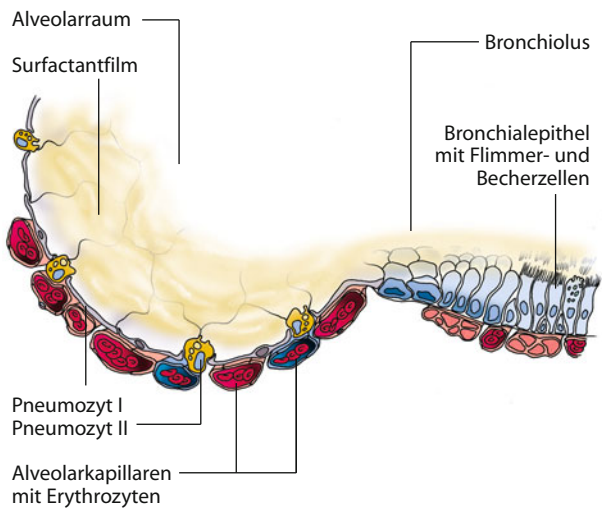


Abb. 1.19. Surfactant in der Alveole und dem Bronchiolus



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

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 (s. S. 137 f.) verändert den Atemzyklus.

Die Atemruhe

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

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 Vo-

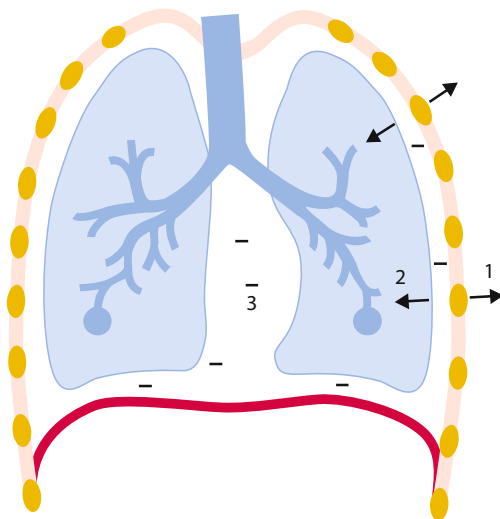


Abb. 1.20. Thorakale Druckverhältnisse in Atemruhe
Die elastische Kraft der Thoraxwand (1) und die Retraktionskraft der Lunge (2) sind gleich groß. Sie wirken einander entgegen. Im Pleuraspalt entsteht dadurch ein negativer Druck (3). Der Alveolardruck entspricht dem atmosphärischen Druck.

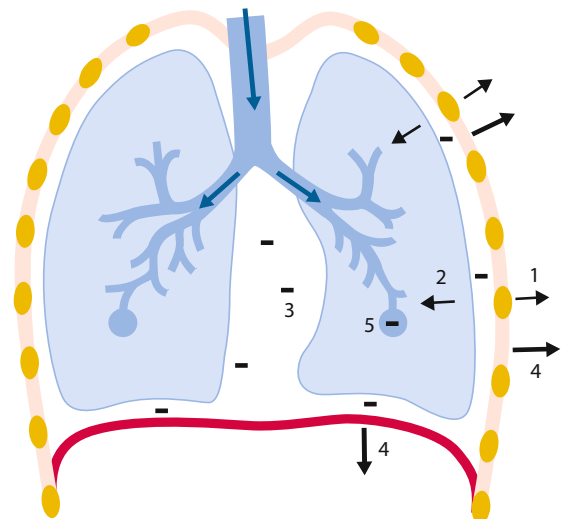


Abb. 1.21. Thorakale Druckverhältnisse während der Einatmung
Die Kontraktionskraft der Einatemmuskulatur (4) wirkt zusammen mit der elastischen Kraft der Thoraxwand (1). Die Retraktionskraft der Lunge (2) wird überwunden. Der Pleuradruck (3) sinkt, der Alveolardruck (5) wird negativ. Luft strömt ein.