

Larsen
Ziegenfuß



Beatmung

4. Auflage

Grundlagen
und Praxis



Springer

Reinhard Larsen

Thomas Ziegenfuß

Beatmung

Grundlagen und Praxis

Reinhard Larsen
Thomas Ziegenfuß

Beatmung

Grundlagen und Praxis

Mit 112 Abbildungen

4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

 Springer

Prof. Dr. med. Reinhard Larsen

Direktor der Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
der Universitätskliniken des Saarlandes

Gebäude 57

66421 Homburg/Saar

Dr. med. Thomas Ziegenfuß

Chefarzt der Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin

St. Josef Krankenhaus Moers

Asberger Str. 4

47441 Moers

Ihre Meinung interessiert uns: www.springer.com/978-3-540-88811-6

ISBN-13 978-3-540-88811-6 4. Auflage 2009 Springer Medizin Verlag Heidelberg

ISBN 3-540-40775-8 3. Auflage 2004 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

springer.de

© Springer Medizin Verlag Heidelberg 1997, 1999, 2004, 2009

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

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

Planung: Ulrike Hartmann

Projektmanagement: Gisela Schmitt

Copy-Editing: Michaela Mallwitz, Tairnbach

Layout und Umschlaggestaltung: deblik Berlin

Satz: Fotosatz-Service Köhler GmbH – Reinhold Schöberl, Würzburg

SPIN: 11306245

Gedruckt auf säurefreiem Papier 2122 – 5 4 3 2 1 0

Vorwort zur 4. Auflage

Ein Praxisbuch lebt von der Aktualität!

Für die Neuauflage wurden daher sämtliche klinisch wichtigen Erkenntnisse und praktischen Fortschritte der Beatmungstherapie in die entsprechenden Kapitel aufgenommen. Eine herausragende Rolle spielt dabei die lungenprotektive Beatmung, deren Vorteile und Nutzen beim akuten Lungenversagen kaum noch strittig sind, jedoch noch nicht im erforderlichen Umfang eingesetzt werden. Gleichzeitig wurden inzwischen veraltete Konzepte gestrichen, so dass der Umfang des Buches nicht wesentlich zugenommen hat.

Insgesamt möchten wir unseren Lesern mit dem Buch den notwendigen Kenntnisstand für die moderne Atemtherapie und Beatmungspraxis zusammen mit einer kritischen, evidenzbasierten Bewertung ihrer Vor- und Nachteile vermitteln.

An dieser Stelle danken wir unseren zahlreichen Lesern für die wertvollen Hinweise und Verbesserungsvorschläge. Ebenso danken wir den Mitarbeitern des Springer-Verlags, allen voran Frau Ulrike Hartmann, für die engagierte Unterstützung bei der Neuauflage. Wir freuen uns auch bei der 4. Auflage über kritische und konstruktive Hinweise unserer Leser und wünschen ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre!

Homburg und Moers im März 2009
Reinhard Larsen
Thomas Ziegenfuß

Vorwort zur 1. Auflage

Dass die Menschen so oft falsche Urteile fällen, rührt gewiss nicht allein aus einem Mangel an Einsicht und Ideen her, sondern hauptsächlich davon, dass sie nicht jeden Punkt im Satz unter das Mikroskop bringen und bedenken.

Lichtenberg (1778), Sudelbücher, Nr. 864

Die maschinelle Beatmung, früher ein eher einfacher mechanischer Vorgang, hat sich dank neuer Respiratortechnologie und einer Vielzahl unterschiedlicher Beatmungsmodi, zu einer komplexen therapeutischen Maßnahme entwickelt, die vom Intensivmediziner ein umfassendes Verständnis der Grundlagen, Prinzipien und Differenzialindikationen verlangt. Diese Grundvoraussetzung jeder praktischen Beatmungstherapie kann heutzutage nicht mehr, gleichsam nebenbei am Krankenbett, erworben werden, sondern bedarf eines intensiven Studiums und Selbstdenkens. Das vorliegende Buch soll nach dem Willen der Autoren den Weg dorthin aufzeigen und zum »Gebrauch der eigenen Augen«, sprich, zum Lernen durch sorgfältige Beobachtung und praktisches Tun anregen.

Das Buch ist eine systematische Einführung in die maschinelle Beatmung und Atemunterstützung des Intensivpatienten, ein Lehr- und Lernbuch, das dem Leser in leicht verständlicher Weise, ausgehend von den anatomischen, physiologischen und pathophysiologischen Grundlagen, das zwingend erforderliche Rüstzeug für die Praxis der Beatmung auf der Intensivstation und im Operationsaal vermittelt. Im praktischen Teil des Buches, der angewandten Atem- und Beatmungstherapie, werden die Einteilung und Klassifizierung der Beatmungsgeräte und Beatmungsformen dargestellt, gefolgt von einer ausführlichen Beschreibung der Einstellgrößen am Respirator, der Standardformen der Beatmung, der alternativen Beatmungsformen und schließlich der derzeit als unkonventionell eingestuften Verfahren der Atemunterstützung, bis hin zu den adjuvanten Maßnahmen wie Überwachung der Beatmung, Lungenpflege, fiberoptische Bronchoskopie und Thoraxdrainagen. Ein weiterer praktischer Teil des Buches befasst sich mit der Atemunterstützung und Beatmung bei typischen respiratorischen Erkrankungen und Störungen wie ARDS, akute Dekompensation bei COPD, Status asthmaticus und Thoraxtrauma. Im vierten und letzten Teil schließlich werden spezielle Beatmungsprobleme dargestellt: Beatmung bei Schädel-Hirn-Trauma und erhöhtem intrakraniellen Druck, Beatmung von Kindern, Narkosebeatmung und die postoperative Routinebeatmung.

Es war unsere Absicht, ein umfassendes, aber dennoch kompaktes Lehrbuch für die Kitteltasche vorzulegen, in dem die maschinelle Beatmung und Atemunterstützung auf der Grundlage gesicherter physiologischer und klinischer Untersuchungen dargestellt und dem Intensivmediziner praktische Leitlinien für seine Tätigkeit auf der Intensivstation an die Hand gegeben werden. Daher haben wir uns nicht nur auf unsere eigene intensivmedizinische Erfahrung gestützt und neue Blicke durch alte Löcher geworfen, sondern, neben den aktuellen Erkenntnissen der wissenschaftlichen Literatur und der intensivmedizinisch tätiger Kollegen, wenn immer möglich, die Empfehlungen von Konsensuskonferenzen zur Klassifizierung von Respiratoren, Beatmungsformen und zur Therapie respiratorischer Erkrankungen berücksichtigt, wohl wissend, dass es sich hierbei nicht selten um vorläufige Leitlinien handelt, die weiterentwickelt und dem jeweiligen wissenschaftlichen Erkenntnisstand angepasst werden müssen.

Das Buch wendet sich an alle Ärzte, die Intensivpatienten betreuen, seien es Anästhesisten, Chirurgen, Neurochirurgen, Internisten, Neurologen und Pädiater; weiterhin an Ärzte in Weiterbildung, die sich mit Fragen der Atemunterstützung und Beatmung befassen wollen; und nicht zuletzt an alle auf den verschiedenen Intensivstationen und in anästhesiologischen Operationsbereichen tätigen Schwestern und Pfleger. Die Gruppe der Fachschwestern und -pfleger für Intensivmedizin bedarf, wie die Ärzte, einer speziellen Unterweisung in der maschinellen Beatmung sowie der unterstützend und ergänzend eingesetzten respiratorischen Therapiemaßnahmen einschließlich derer spezifischer Auswirkungen und Gefahren. Denn gerade die Mitglieder dieser Gruppe sind es, die während ihrer

kontinuierlichen Anwesenheit am Bett des beatmeten Patienten die Funktion des Respirators überwachen, bedrohliche Komplikationen rechtzeitig erkennen und besonders die respiratorische Therapie einschließlich der unterstützenden Maßnahmen umsetzen müssen. Für sie soll das vorliegende Buch als Ausbildungsgrundlage dienen, aber auch zum (zugegeben nicht ganz einfachen) Selbststudium anregen.

Die Autoren danken sehr herzlich Frau Kerstin Rupp, Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin der Universitätskliniken des Saarlandes, für die perfekte EDV-Erfassung des Manuskripts und die unermüdliche Hilfe bei der Korrektur des Umbruchs, Herrn Victor Oehm, Springer Verlag, für die nie nachlassende Unterstützung und empathische Begleitung bei der Verwirklichung des Textes sowie Herrn J. Sydor, Springer Verlag, für stets kompetente, reibungslose und angenehme Zusammenarbeit bei der Herstellung des Buches.

R. Larsen
T. Ziegenfuß
Homburg, im Juli 1997

Inhaltsverzeichnis

1	Anatomie der Atmungsorgane	1	15	Auswirkungen und Komplikationen der Beatmung	275
2	Physiologie der Atmung	18	16	Überwachung der Beatmung	295
3	Blutgase	54	17	Analgesie, Sedierung und Muskel- relaxierung	316
4	Säure-Basen-Haushalt	69	18	Lungenpflege	328
5	Respiratorische Insuffizienz – Allgemeine Pathophysiologie	84	19	Fiberoptische Bronchoskopie	342
6	Endotracheale Intubation	97	20	Thoraxdrainagen	348
7	Tracheotomie	131	21	Akutes Lungenversagen (ARDS)	358
8	Klassifizierung und Steuerungs- prinzipien der Beatmungsgeräte	146	22	Akute respiratorische Insuffizienz bei chronisch-obstruktiver Lungen- erkrankung (COPD)	376
9	Einteilung und Klassifikation der Beatmungsformen	160	23	Status asthmaticus	393
10	Einstellgrößen am Beatmungsgerät	171	24	Beatmung beim Thoraxtrauma	403
11	Standardformen der Beatmung	191	25	Beatmung bei Schädel-Hirn-Trauma und erhöhtem intrakraniellem Druck	411
12	Alternative Beatmungsformen	210	26	Beatmung von Kindern	416
13	Unkonventionelle Verfahren der respiratorischen Unterstützung	249	27	Intra- und postoperative Beatmung	424
14	Praxis der Beatmung	259		Stichwortverzeichnis	433

Anatomie der Atmungsorgane

1.1 Atemwege – 2

1.1.1 Trachea – 2

1.1.2 Extrapulmonale Hauptbronchen – 3

1.2 Lungen – 4

1.2.1 Lungenlappen – 4

1.2.2 Lungensegmente, Segmenta bronchopulmonalia – 4

1.2.3 Lungenläppchen, Lobuli pulmonalis – 6

1.2.4 Azinus – 7

1.2.5 Bronchialbaum der Lunge – 7

1.2.6 Alveolen, Ort des Gasaustausches – 10

1.2.7 Blutgefäßsystem der Lunge – 13

1.2.8 Innervation der Lunge – 14

1.3 Pleura und Pleurahöhlen – 14

1.3.1 Lungen- und Pleuragrenzen – 15

1.4 Thoraxskelett – 16

1.5 Atemmuskulatur – 16

Literatur – 17

Die Atmungsorgane bestehen aus den Atemwegen und den Lungen. Wichtigste Funktion der Atmungsorgane ist die **äußere Atmung**, die Aufnahme von Sauerstoff und die Abgabe von Kohlendioxid. Hierbei dienen die Atemwege dem Transport der Atemgase sowie der Reinigung, Anfeuchtung und Erwärmung der Inspirationsluft, weiterhin der Laut- und Sprachbildung. Der Austausch der Atemgase erfolgt in den Alveolen durch Diffusion, der Gaswechsel durch Volumenänderungen der Lunge. Dieser Vorgang wird als **Ventilation** bezeichnet.

1.1 Atemwege

Topographisch werden obere und untere Atemwege unterschieden (■ Abb. 1.1):

- **obere Atemwege:** Nasenhöhle, Pharynx, Kehlkopf,
- **untere Atemwege:** Trachea, Bronchialsystem der Lunge.

Funktionell werden die Atmungsorgane in luftleitende und respiratorische, d. h. gasaustauschende Abschnitte unterteilt:

- **luftleitende Abschnitte:** Nasenhöhle, Kehlkopf, Trachea, Bronchen, Bronchiolen, Bronchioli terminales,
- **gasaustauschende Abschnitte:** Bronchioli respiratorii, Alveolen.

Die Atemwege beginnen mit den beiden Nasenlöchern und enden in den Alveolen. Zwischen Nase und Alve-

olen sind die luftleitenden Abschnitte geschaltet. Sie leiten die Atemluft, am Gasaustausch sind sie hingegen nicht beteiligt.

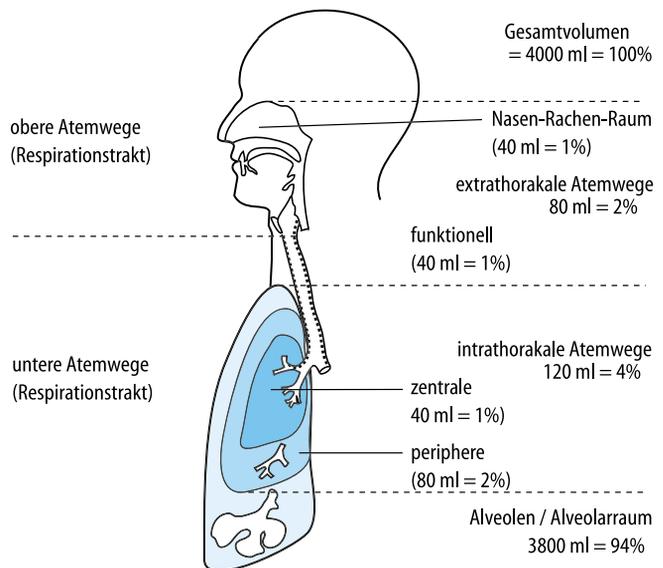
Der Tracheobronchialbaum mit seiner zunehmenden Aufzweigung kann in verschiedene Generationen von luftleitenden Wegen eingeteilt werden, beginnend bei der Trachea als Generation 0 und endend in den Alveolarbläschen als Generation 23.

1.1.1 Trachea

Die Trachea ist eine ca. 10–12 cm lange Röhre mit einem Durchmesser von 1,8–2 cm. Sie beginnt extrathorakal unterhalb des Ringknorpels (Pars cervicalis), in Höhe des 4.–7. Halswirbelkörpers und verläuft intrathorakal (Pars thoracica) durch das obere Mediastinum bis zur Verbindung zwischen Corpus und Manubrium des Sternums, 5–7 cm von der Haut entfernt; dort, an der Bifurkation, verzweigt sie sich in die beiden Hauptbronchen. Die Bifurkation befindet sich – abhängig vom Alter – in Höhe des 4.–5. Brustwirbels (beim Neugeborenen: 2. BW, beim Älteren: 7. BW).

Aufbau der Wand. Die äußere Wand besteht aus 16–20 elastisch miteinander verbundenen, hufeisenförmigen Knorpeln. Die Hinterwand dagegen wird von der knorpelfreien, bindegewebig-muskulösen Pars membranacea gebildet; diese membranöse Hinterwand liegt über den ganzen Verlauf der Trachea dem Ösophagus an. Durch die Knorpelspangen bleibt das Lumen

■ **Abb. 1.1.** Einteilung des Respirationstrakts und Verteilung der Luftvolumina bei Atemmittellage. Der Respirationstrakt besteht aus den extra- und intrathorakalen Atemwegen und dem Alveolarraum. Der Kehlkopf trennt den oberen vom unteren Respirationstrakt. Der Durchmesser der peripheren Atemwege beträgt weniger als 2 mm



der Trachea ständig geöffnet, allerdings genügen bereits Drücke von ca. 40 cm H₂O (1 cm H₂O=98,07 Pa), um die Trachea im extrathorakalen, d. h. Halsbereich vollständig zu verschließen. Diese Gefahr besteht z. B. bei Nachblutungen von Schilddrüsenoperationen. Im Thorax kann die Trachea durch hohe intrathorakale Drücke, z. B. beim Husten, komprimiert werden.

Aufgrund ihrer hohen Elastizität verlängert sich die Trachea bei tiefer Inspiration um bis zu 5 cm, auch folgt sie allen Kopf-, Kehlkopf- und Halsbewegungen.

Schleimhaut. Die innere Schicht der Trachea wird von einer Schleimhaut mit Flimmerepithel und einer drüsenreichen Lamina propria gebildet. Die Schleimhaut ist fest mit den Knorpelspangen verbunden, über der Pars membranacea hingegen verschieblich. Die Drüsen bilden ein seromuköses Sekret, das als dünnflüssiger Film direkt dem Epithel aufliegt. In diesem Schleimfilm schlagen die Kinozilien in Richtung Kehlkopf und befördern einen eingedickten Film mit Staubteilchen und Mikroorganismen nach oben. Dieser Mechanismus, der selbst in den kleinsten Bronchiolen vorhanden ist, wird als **mukoziliäre Clearance** bezeichnet.

Zu den Zellen ohne Zilien gehören die schleimproduzierenden Becherzellen, weiterhin Basalzellen – kleine Zellen mit ovalem Kern.

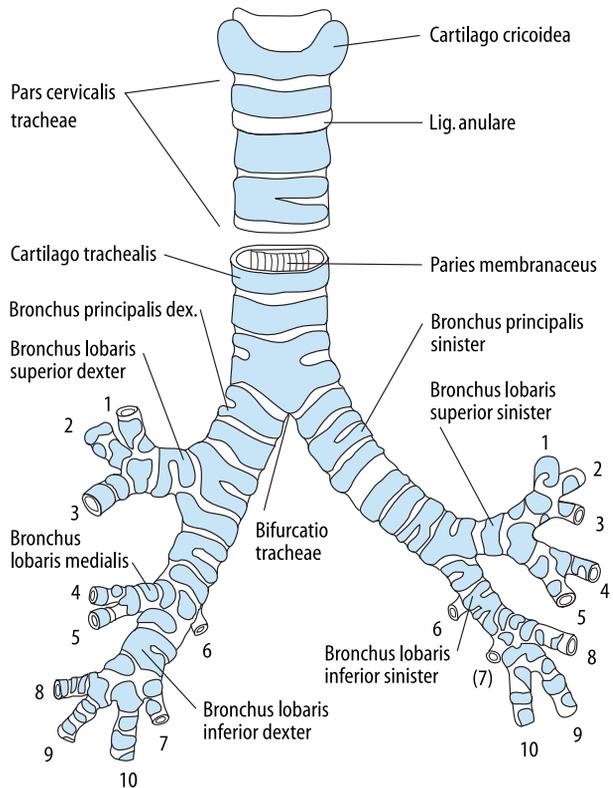
Innervation und Gefäßversorgung. Der M. trachealis der Pars membranacea wird vom N. vagus über Äste des N. laryngeus recurrens innerviert, im unteren Bereich durch direkte Äste. Die sensible und sekretorische Innervation der Schleimhaut erfolgt ebenfalls durch den N. vagus. Die Gefäße der Schleimhaut werden von sympathischen Fasern des Grenzstrangs innerviert, die z. T. mit Vagusästen zur Trachea ziehen.

Die Blutversorgung der Trachea erfolgt überwiegend aus der A. thyroidea inferior.

1.1.2 Extrapulmonale Hauptbronchien

An der Bifurkation der Trachea springt vom letzten Trachealknorpel ein halbmondförmiger Sporn, die Carina, in die Lichtung vor. Hier beginnt die gabelförmige Aufteilung in den rechten und linken Hauptbronchus, die beide am jeweiligen Lungenhilus in ihre Lunge eintreten und sich unmittelbar danach weiter

■ **Abb. 1.2.** Trachea, Haupt-, Lappen- und Segmentbronchien. Der mittlere Trachealabschnitt wurde weggelassen, um den Pars membranaceus darzustellen. (Schiebler 2005)



aufzweigen, beginnend mit dem Oberlappenbronchus (▣ Abb. 1.2).

Zwischen rechtem und linkem Hauptbronchus bestehen folgende klinisch wichtigen Unterschiede:

- rechter Hauptbronchus: kurz, 1–2,5 cm lang; etwas größerer Durchmesser (ca. 14 mm); Winkel zwischen Trachea und Bronchus: nur 22°,
- linker Hauptbronchus: 4,5–5 cm lang; Durchmesser ca. 12,5 mm; stärkere Abwinkelung; mindestens 35°,
- Winkel zwischen beiden Bronchen: variabel, meist 55°–65°.

Wegen der geringeren Abwinkelung gelangen Fremdkörper oder ein zu tief eingeführter Tubus beim Erwachsenen leichter in den rechten Hauptbronchus.

Bei tiefer Inspiration erweitern sich die Hauptbronchen um 2–3 mm.

Wandaufbau und Schleimhaut. Der Aufbau von Wand und Schleimhaut der Hauptbronchen entspricht dem der Trachea: rechts 6–8, links 9–12 hufeisenförmige Knorpelspangen an den Vorder- und Seitenwänden, bindegewebig-muskulöse Membran an der Hinterseite mit hoher Elastizität, Schleimhaut aus zylindrischem Epithel mit Flimmerzellen und schleimproduzierenden Becherzellen.

Innervation und Gefäßversorgung. Innervation s. Trachea; die Gefäßversorgung der Hauptbronchen erfolgt überwiegend aus Rr. bronchiales.

1.2 Lungen

Die beiden Lungen, Pulmo dexter und Pulmo sinister, gliedern sich in Lappen, Segmente, Läppchen und Azini (▣ Abb. 1.3). Jede Lunge füllt eine der beiden Pleurahöhlen aus und ist, bis auf den Lungenhilus, vollständig mit der **Pleura visceralis**, dem Lungenfell, überzogen. Die Pleura visceralis ist von der glatten mesothelialen Auskleidung der Pleurahöhle, der **Pleura parietalis** oder dem Rippenfell, durch den Pleuraspalt getrennt. Im Pleuraspalt befindet sich ein Flüssigkeitsfilm, der die Verschieblichkeit der Lunge ermöglicht.

Die Lungen sind durch das Mesopneumonium am Mediastinum befestigt; das Mesopneumonium wird durch die Umschlagfalte der Pleura visceralis in die Pleura parietalis gebildet. Der obere Teil des Mesopneumoniums umfasst den Lungenhilus, Hilum pulmonis, mit Hauptbronchus, Lungengefäßen und Nerven, der untere Teil ist als Duplikatur zum Lig. pulmonale ausgezogen.

Beide Lungen sind grundsätzlich ähnlich gestaltet und gegliedert, allerdings mit einigen Unterschieden. So besteht die rechte Lunge aus 3 Lappen, die linke hingegen nur aus 2.

1.2.1 Lungenlappen

Beide Lungen werden durch Spalten, Fissurae interlobares, die fast bis zum Hilus einschneiden, in Lungenlappen getrennt. Die Lungenlappen sind von der Pleura visceralis überzogen, die in der Tiefe der Spalten auf den Nachbarlappen übergeht.

Rechte Lunge. Die rechte Lunge besteht aus 3 Lappen:

- Oberlappen, Lobus superior,
- Mittellappen, Lobus medius,
- Unterlappen, Lobus inferior.

Der Unterlappen wird von den beiden anderen Lappen durch die Fissura obliqua getrennt, Mittel- und Oberlappen durch die Fissura horizontalis.

Linke Lunge. Im Gegensatz zur rechten besteht die linke Lunge nur aus 2 Lappen:

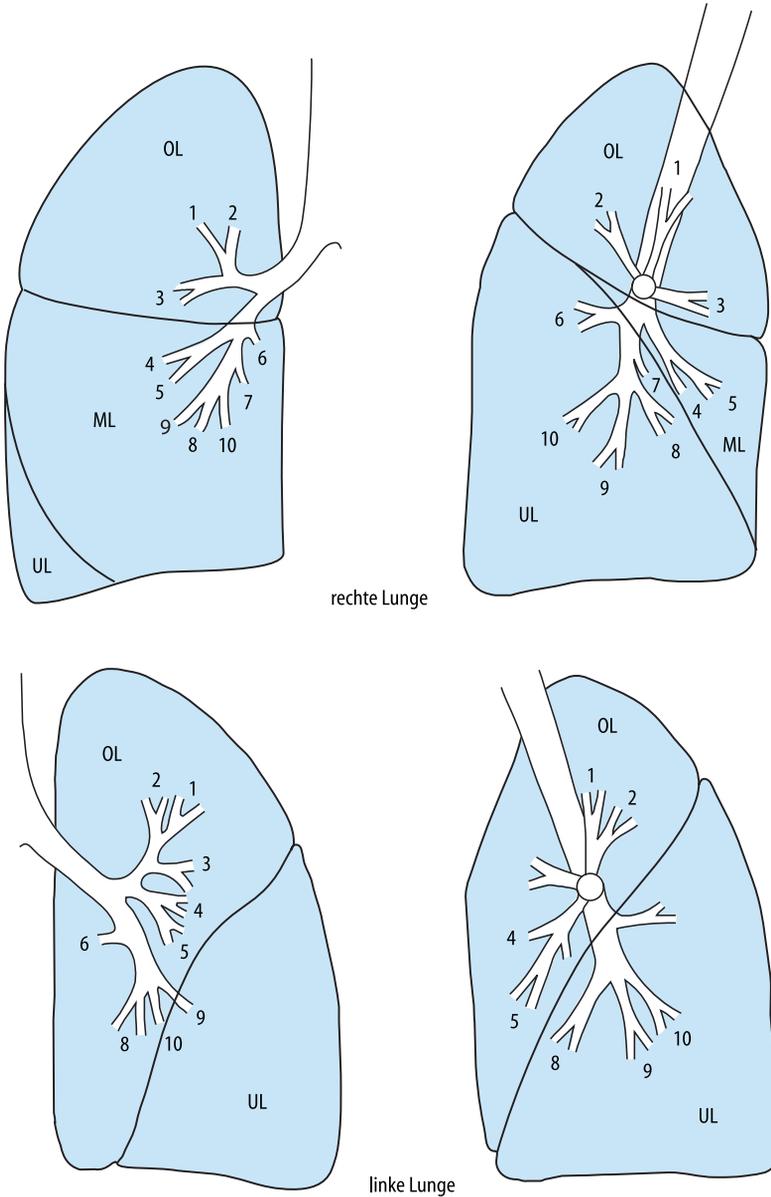
- Oberlappen, Lobus superior,
- Unterlappen, Lobus inferior.

Getrennt werden die beiden Lappen nur durch die Fissura obliqua. Der Oberlappen der linken Lunge entspricht dem Ober- und Mittellappen der rechten. Er ist allerdings, bedingt durch das Herz, kleiner als diese beiden Lappen.

Lungenhilus. Hauptbronchus, Gefäße und Nerven bilden im Lungenhilus die **Lungenwurzel**, Radix pulmonis. Am weitesten dorsal liegt der Hauptbronchus; vor dem Bronchus verläuft die eintretende Pulmonalarterie. Die Lungenvenen verlaufen unterhalb der Lungenarterie und fließen im Hilus zu 2 Stämmen zusammen. Zwischen den Gefäßen liegen die Hiluslymphknoten; um den Hauptbronchus und die Pulmonalgefäße ziehen die Äste des Plexus pulmonalis, die Rr. bronchiales, in die Lunge, während die Vv. bronchiales und die Lymphgefäße den Hilus verlassen.

1.2.2 Lungensegmente, Segmenta bronchopulmonalia

Segmente sind pyramiden- bis kegelförmige Einheiten der Lunge, deren Spitze zur Hilusregion gerichtet ist



▣ **Abb. 1.3.** Topographie der Lungenlappen und -segmente; *links* Ansicht von vorn, *rechts* Seitenansicht. Der rechte Mittellappen liegt der vorderen Thoraxwand an, der Unterlappen der lateralen und hinteren Wand. Die Zahlen kennzeichnen

die entsprechenden Segmente. Die Lingulasegmente der linken Lunge weisen einen gemeinsamen Stamm auf, vergleichbar dem des rechten Mittellappenbronchus. Das 7. Segment ist links meist nicht ausgebildet

(▣ Abb. 1.4). Die Segmente werden von einem Segmentbronchus, seinen Ästen und einem stets begleitenden Ast der A. pulmonalis gebildet und voneinander – allerdings unvollständig – durch Bindegewebssepten abgegrenzt. An der äußeren Oberfläche der Lunge kön-

nen die Segmente nicht erkannt werden. Die rechte Lunge besteht in der Regel aus 10 Segmenten, die linke hingegen aus 9 (▣ Tab. 1.1).

Die Segmentbronchen treten am Hilus ein und verlaufen in der Segmentachse; sie verzweigen sich im Seg-

Tab. 1.1. Lungensegmente und zugeordnete Bronchien

Rechte Lunge	
Lobus superior	Bronchus lobaris superior dexter
Segmentum apicale (1)	Bronchus segmentalis apicalis
Segmentum posterius (2)	Bronchus segmentalis posterior
Segmentum anterius (3)	Bronchus segmentalis anterior
Lobus medius	Bronchus lobaris medius dexter
Segmentum laterale (4)	Bronchus segmentalis lateralis
Segmentum mediale (5)	Bronchus segmentalis medialis
Lobus inferior	Bronchus lobaris inferior dexter
Segmentum superius (6)	Bronchus segmentalis superior
Segmentum basale mediale (7)	Bronchus segmentalis basalis medialis
Segmentum basale anterius (8)	Bronchus segmentalis basalis anterior
Segmentum basale laterale (9)	Bronchus segmentalis basalis lateralis
Segmentum basale posterius (10)	Bronchus segmentalis basalis posterior
Linke Lunge	
Lobus superior	Bronchus lobaris superior sinister
Segmentum apicoposterius (1+2)	Bronchus segmentalis apicoposterior
Segmentum anterius (3)	Bronchus segmentalis anterior
Segmentum lingulare superius (4)	Bronchus lingularis superior
Segmentum lingulare inferius (5)	Bronchus lingularis inferior
Lobus inferior	Bronchus lobaris inferior sinister
Segmentum superius (6)	Bronchus segmentalis superior
Segment fehlt meist	
Segmentum basale anterius (8)	Bronchus segmentalis basalis anterior
Segmentum basale laterale (9)	Bronchus segmentalis basalis lateralis
Segmentum basale posterius (10)	Bronchus segmentalis basalis posterior

ment mit 6–12 dichotomen Aufteilungen in die mittleren und kleinen Bronchen, auf die schließlich die Bronchiolen folgen.

Anzahl der in beiden Lungen enthaltenen Segmente

- Rechte Lunge: 10 Segmente, davon 3 im Oberlappen, 2 im Mittellappen und 5 im Unterlappen
- Linke Lunge: 9 Segmente, davon 5 im Oberlappen und 4 im Unterlappen

1.2.3 Lungenläppchen, Lobuli pulmonalis

Die Lungenläppchen (■ Abb. 1.5) sind durch lockeres Bindegewebe voneinander abgegrenzt, allerdings nur in der mittleren Zone der Lungenlappen zu erkennen. Hier bilden sie polygonale Felder mit einem Durchmesser von 1–4 cm, während im Lappenkern keine lobuläre Unterteilung vorhanden ist.

Ein Läppchen wird von Bronchiolen der 1. Generation versorgt, die sich im Läppchen 3- bis 4mal aufteilen. Die letzte Generation sind die Bronchioli terminales. Aus ihnen gehen die Endaufzweigungen des

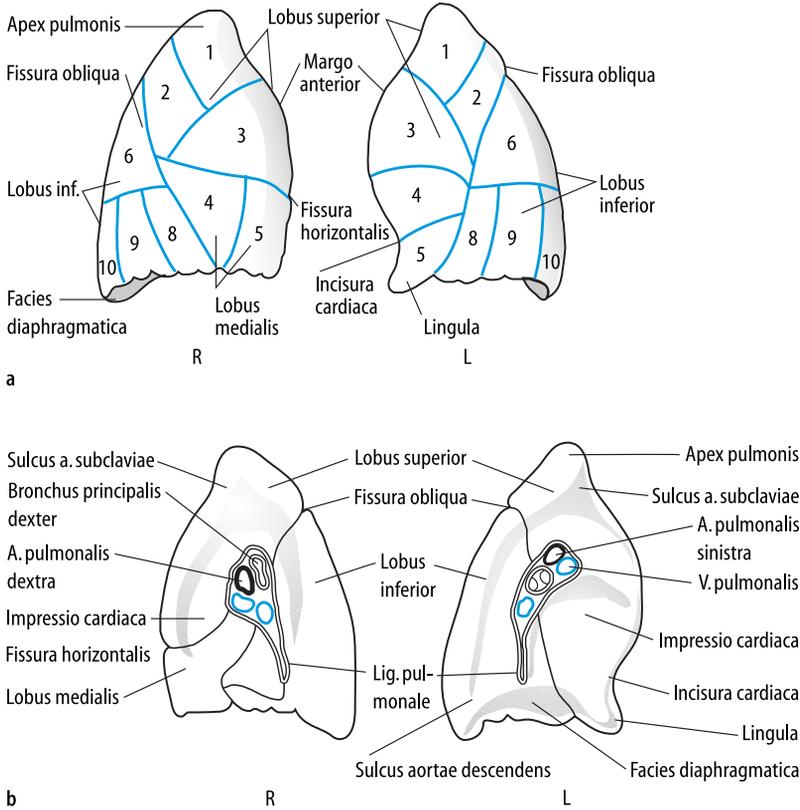


Abb. 1.4. Seitenansicht (Facies costalis) der rechten und linken Lunge; Segmentgrenzen rot, Lungensegmente durch Ziffern gekennzeichnet; Forderung der Lungenoberfläche entsprechend den Lobuli. **b** Mediale Ansicht der rechten und

linken Lunge; Lungenhilum mit Arterien (schwarz), Venen (blau) und Bronchien (linker Hauptbronchus nicht bezeichnet). (Schiebler 2005)

Bronchialbaums hervor, auf denen sich die Alveolen befinden.

1.2.4 Azinus

Ein Azinus umfasst die aus einem Bronchiolus terminalis hervorgehende Endaufzweigung mit den zugehörigen Alveolen, den kammerartigen Lungenbläschen. Die Azini sind voneinander nicht durch Bindegewebe abgegrenzt. Ein Acinus pulmonalis umfasst 1500–4000 Alveolen, der Durchmesser beträgt 2,5–5, maximal 8 mm.

1.2.5 Bronchialbaum der Lunge

Der Bronchialbaum besteht aus einem proximalen **konduktiven** Abschnitt, der die Atemluft lediglich leitet, und einem distalen Abschnitt, in dem der **Gasaustausch** stattfindet (Abb. 1.6).

Der konduktive Abschnitt entspricht dem Totraumanteil des Atemzugvolumens. Insgesamt lassen sich folgende luftleitende Abschnitte des Bronchialbaums unterscheiden:

- rechter und linker Hauptbronchus (▶ s. oben),
- Lappenbronchen,
- Segmentbronchen,
- Bronchiolen,
- terminale Bronchiolen.

Nach Weibel kann der Tracheobronchialbaum auch »in Generationen« unterteilt werden, wobei sich mit jeder