



Atmungssystem

Trachea, Lungen, Thorax

David P. Wolfer
Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

376-0151-00 Anatomie und Physiologie I
Mi 11.12.2019 08:00-09:45 Y24 G55 → Y03 G85

Trachea

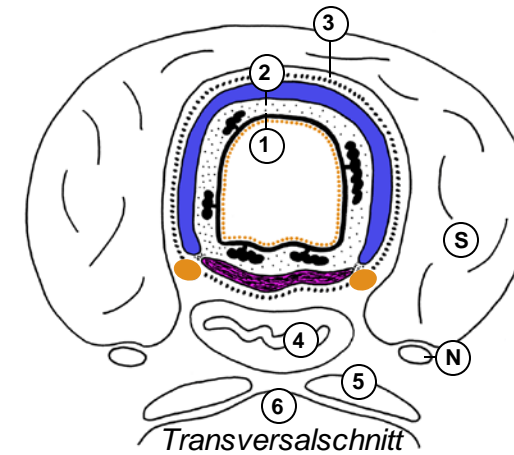
- Trachea = Luftröhre
 - Begin: kaudaler Rand Ringknorpel (Höhe 4. Halswirbel)
 - zervikaler (Hals-), mediastinaler (Brust-) Abschnitt
 - Tracheabifurkation → Hauptbronchien (Höhe 4. Brustwirbel)

• Wandbau Trachea

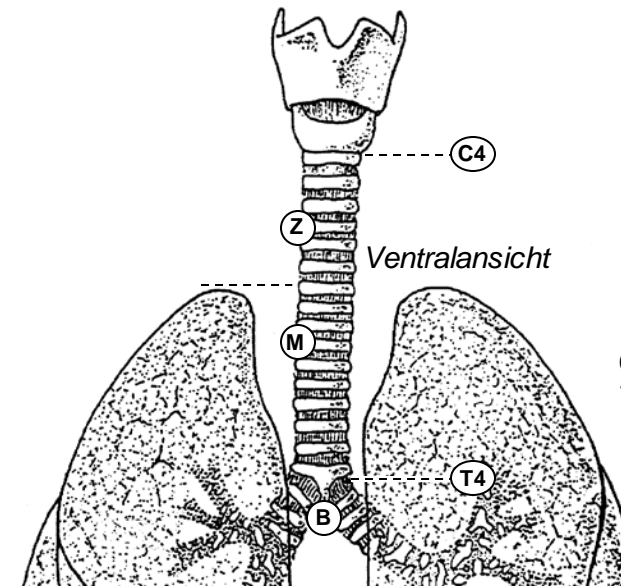
- Tunica mucosa (Schleimhaut): Lamina epithelialis = respiratorisches Epithel + Lamina propria = Bindegewebe mit vielen elastischen Fasern (bewirken Trachealzug) und seromukösen Trachealdrüsen
- Tunica fibrocartillaginea lateral und ventral: hyaline Knorpelspangen, dazwischen Ligamente
- Trachealmuskel nur dorsal (glatte Muskulatur)
- Tunica adventitia: lockeres kollagenes Bindegewebe, Verschiebeschicht gegen Umgebung
- selber Wandbau wie Trachea gilt auch für Hauptbronchien

• Nachbarschaftsbeziehungen

- zervikaler Abschnitt: N. laryngeus recurrens, Schilddrüse, Oesophagus
- mediastinaler Abschnitt: Oesophagus, grosse Gefässe



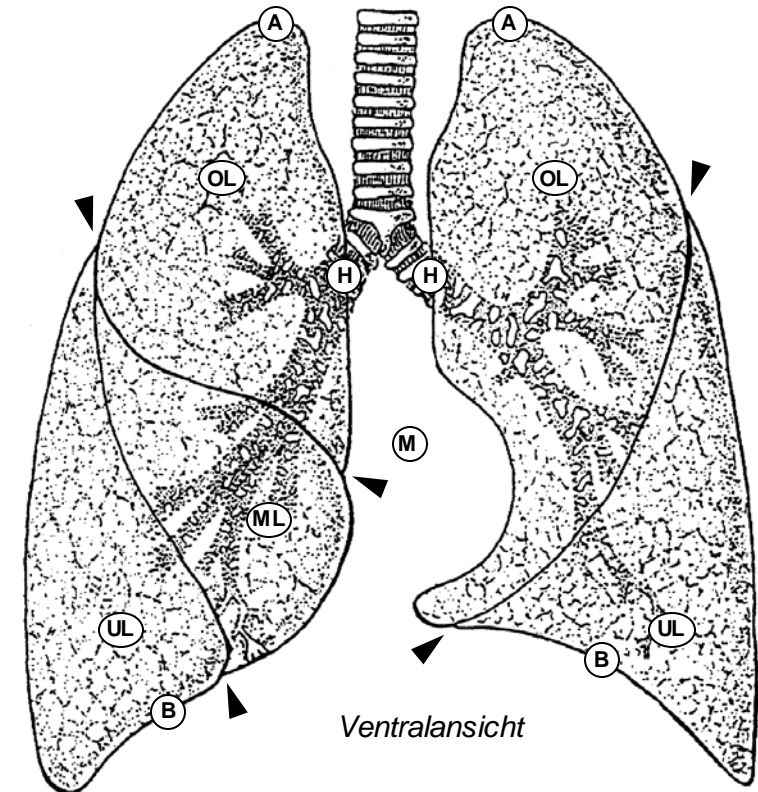
- 1 Epithel
- 2 Lamina propria
- Trachealdrüsen
- Knorpelspange
- 3 Adventitia
- Trachealmuskel
- Schleim



- Z zervikaler Abschnitt
- M mediastinaler Abschnitt
- B Tracheabifurkation
- S Schilddrüse
- N Nebenschilddrüse
- N. laryngeus recurrens
- 4 Oesophagus
- 5 prävertebrale Muskulatur
- 6 Wirbelsäule
- C4 4. Halswirbel
- T4 4. Brustwirbel

Lunge

- **Gliederung**
 - Lappen: rechte Lunge 3, linke 2: getrennt durch Fissuren (ermöglichen Lappenresektion)
 - Segmente: rechts 10, links 9, getrennt durch vollständige Bindegewebesepten (ermöglichen Segmentresektion)
 - Lobuli (Läppchen): ca. 10,000, Ø 0.8-2cm, getrennt durch unvollständige Bindegewebesepten (Zeichnung auf Lungenoberfläche)
 - Azini: ca. 100,000, Ø 3-8mm, keine Begrenzung durch Bindegewebe, nur mikroskopisch abgrenzbar
 - Alveolen (Lungenbläschen): ca. 350 Mio, Ø 50-250µm, totale Austauschfläche Σ 80-130m² (halber Tennisplatz)
- **Leitungsbahnen**
 - Luftwege: dichotome Aufteilung bestimmt Gliederung der Lunge
 - Gefäße: Arbeitsblutkreislauf (Lungenarterie & -Venen), Privatblutkreislauf (Bronchialgefäße), Lymphgefäße mit Lymphknoten va beim Hilum und entlang Trachea
 - Gemeinsamer Ein/Austritt der Leitungsbahnen der rechten und linken Lunge durch Hilum
 - Segmente und Lobuli: Luftwege & Arterien verlaufen zentral, Venen separat peripher, Lymphgefäße zentral und peripher

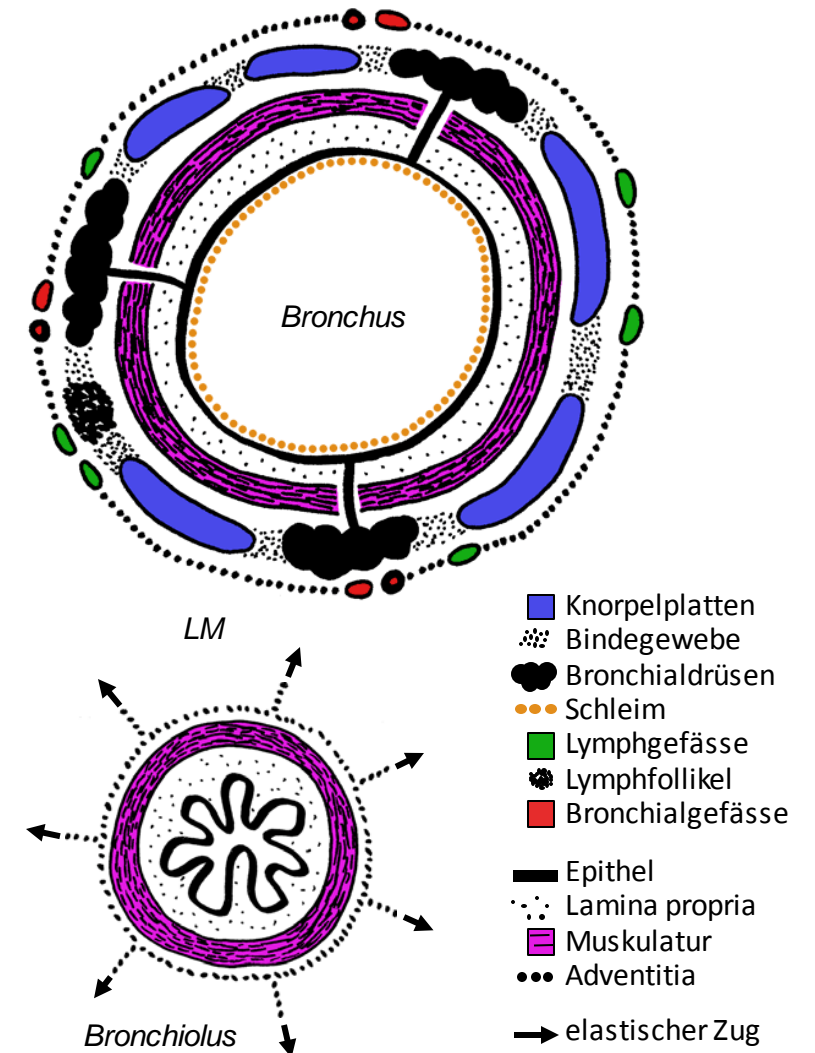


OL Oberlappen (Lobus sup.) A Lungenspitze (Apex)
ML Mittellappen (Lobus med.) B Basis
UL Unterlappen (Lobus inf.) M Mediastinum
H Hilum

▶ Fissuren (Fissura obliqua, horizontalis)

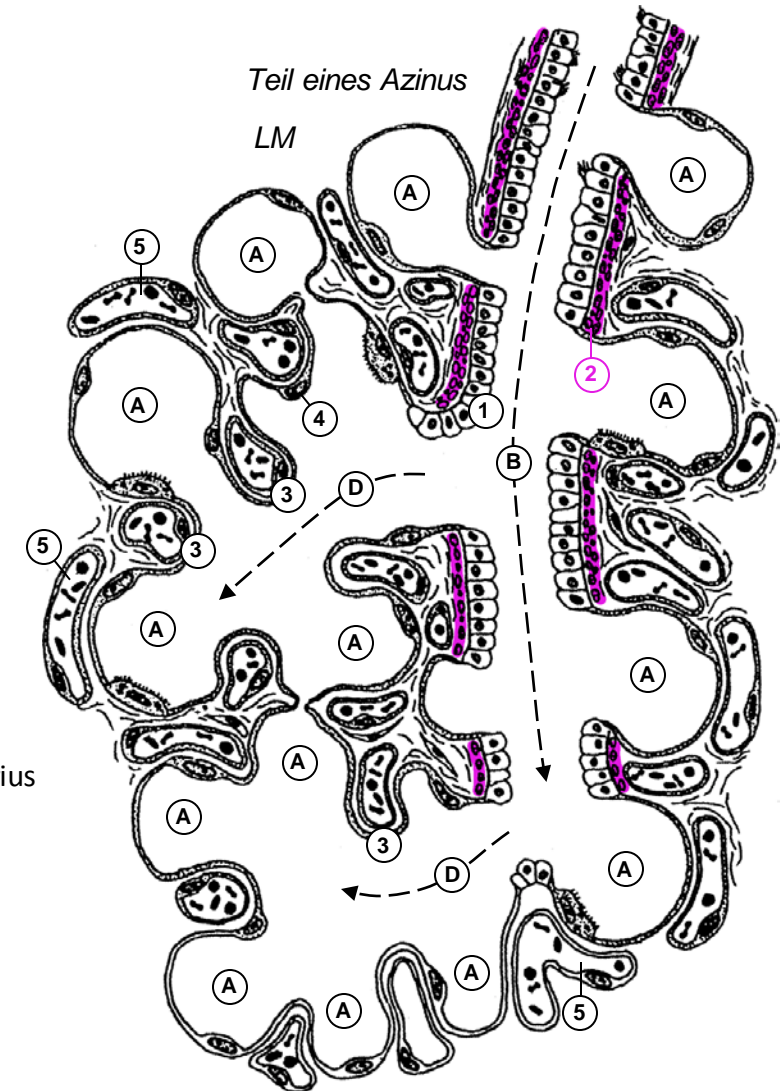
Intrapulmonale Atemwege, konduktiv

- konduktive Abschnitte
 - wie in extrapulmonalen Atemwegen kein Gasaustausch: «Totraum»
 - fortgesetzte Erwärmung, Befeuchtung und Reinigung der Atemluft
- Bronchus
 - Lappenbronchus, Segmentbronchus
 - Subsegmentbronchus: 6-12 weitere Aufteilungen innerhalb Segment
 - Wandbau: Schleimhaut (respiratorisches Epithel + Lamina propria), Muskelschicht, hyaline Knorpelplatten und muköse Drüsen, Adventitia mit Bronchialarterien, Bronchialvenen und Lymphgefäßen
- Bronchiolus
 - grösste → Lobulus, Durchmesser <1mm, 3-4 Teilungen im Lobulus
 - Bronchiolus terminalis (letzter konduktiver Abschnitt) → Azinus
 - Wandbau: Schleimhaut, dünne und reduzierte Wand (keine Drüsen, kein Knorpel, keine Bronchialgefäße)
 - Zug durch elastisches Lungengewebe verhindert Kollaps bei Expiration, durch Muskelschicht: stark verengbar → Schleimhautfalten
 - Problemstrecke bei obstruktiven Lungenerkrankungen: übermässige Kontraktion der Muskulatur, Verlegung durch Sekret
 - Emphysem: Kollapsgefahr durch Verlust elastischen Zugs



Intrapulmonale Atemwege, respiratorisch

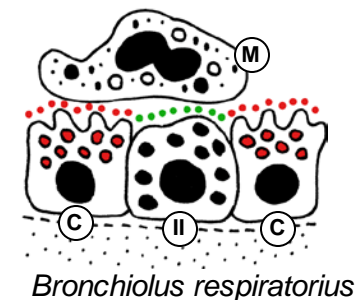
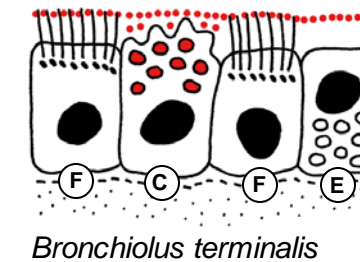
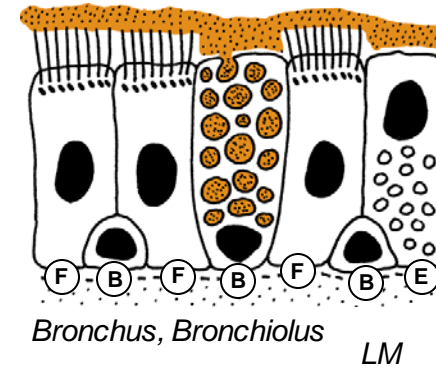
- respiratorische Abschnitte
 - Beitrag zu Gasaustausch
- Bronchiolus respiratorius
 - einzelne Alveolen (Lungenbläschen) in Wand kleinster Bronchiolen
 - weitere Teilungen innerhalb Azinus
- Ductus alveolaris
 - Wand besteht nur aus Alveolen
 - total ca. 8 Mio Ductus alveolares, selbst verzweigt durch weitere Teilungen (total ca. 22-23 Bifurkationen Trachea → Ductus alveolaris)
- Alveolarseptum
 - gemeinsame Trennwand zwischen benachbarten Alveolen: Alveolarepithel, Blutkapillaren, elastisches Bindegewebe



- B Bronchiolus respiratorius
- D Ductus alveolaris
- A Alveole
- 1 Bronchiolarepithel
- 2 Muskulatur
- 3 Alveolarseptum
- 4 Alveolarepithel
- 5 Blutkapillare

Intrapulmonale Atemwege, Epithel

- Bronchus, Bronchiolus
 - hochprismatisch mehrreihiges respiratorisches Epithel wie Nase, Epi-& Hypopharynx, Larynx, Trachea und Hauptbronchien
 - Becherzellen im Bronchus noch durch Bronchialdrüsen unterstützt, Bronchialdrüsen nehmen gegen Peripherie ab, fehlen im Bronchiolus
 - Kinozilien bewegen Schleim in Richtung Pharynx → Aushusten
- Bronchiolus terminalis
 - Clarazellen ersetzen Becherzellen allmählich gegen Peripherie, bilden dünnflüssiges Sekret statt Schleim
 - Epithel wird kubisch und einschichtig
 - Kinozilien bewegen Sekret in Richtung Pharynx → Aushusten
- Bronchiolus respiratorius
 - Clarazellen ersetzen Becherzellen vollständig
 - einzelne Alveolarzellen Typ II: bilden Surfactant → Reduktion der Oberflächenspannung, Verhindert Kollaps → determiniert Lungenreife beim Fetus
 - Keine Schleimbildung und Kinozilien mehr, Reinigung durch Alveolarmakrophagen (residente Makrophagen der Lunge): Feinstaub, Bakterien, Zelltrümmer

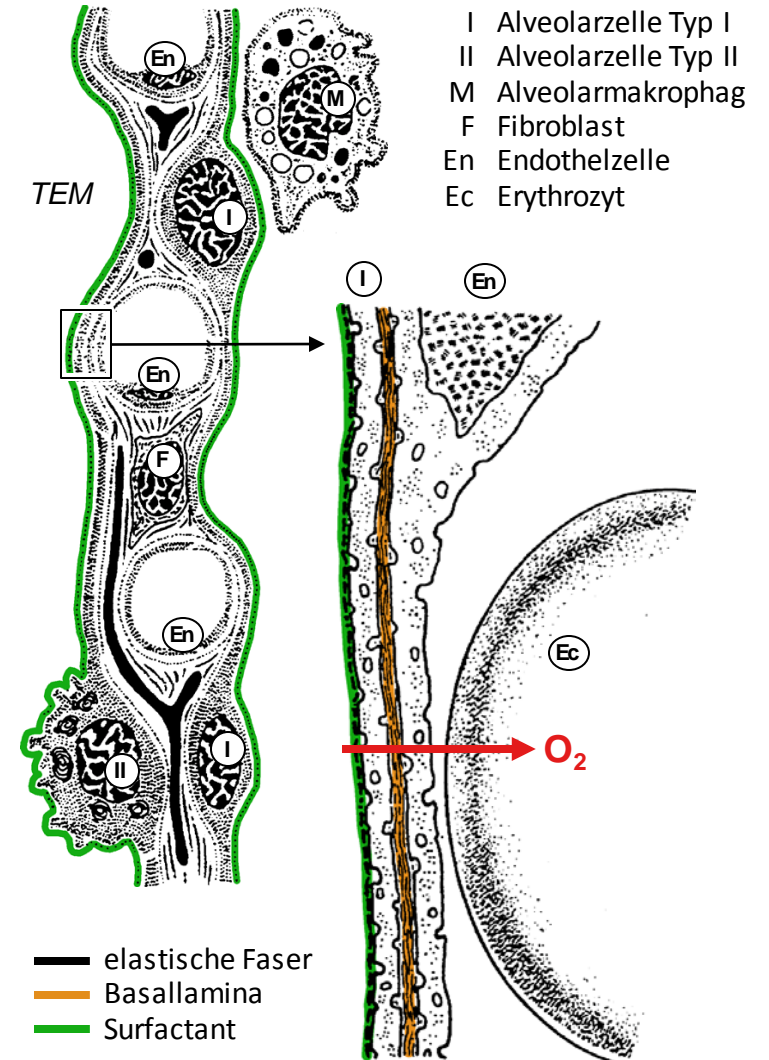


- F Flimmerzelle
- S Stammzelle
- B Becherzelle
- E endokrine Zelle
- C Clara-Zelle
- II Alveolarzelle Typ II
- M Alveolarmakrophag

- Basallamina
- Lamina propria
- Schleim
- wässriges Sekret
- Surfactant

Alveolarseptum

- Alveolarepithel
 - Alveolarzellen Typ I: sehr flach, Innenauskleidung Alveolen, maximale Fläche und minimale Diffusionsstrecke für Gasaustausch
 - Alveolarzellen Typ II: rundlich, oft in Nischen, bilden Surfactant
- Interstitium («Lamina propria»)
 - Fibroblasten, elastisches Bindegewebe: sorgt für Retraktionskraft der Lunge, speichert während Inspiration Energie für Expiration
 - Blutkapillaren, Endothelzellen: grösstenteils gemeinsame Basallamina mit Alveolarzellen Typ I (minimale Diffusionsstrecke für Gasaustausch)
- Alveolarmakrophagen
 - nach Phagozytose Wanderung in Richtung Bronchioli (→ Schleimteppich), oder Durchtritt in Interstitium (→ Lymphgefässe, Lymphknoten)
 - phagozytierter Feinstaub färbt Interstitium und Lymphknoten dunkel → Grenzen der Lobuli auf Lungenoberfläche dunkel nachgezeichnet
- Emphysem
 - Untergang der Alveolarsepten
 - Verlust an Austauschfläche, Kapillaren und Retraktionskraft
 - oft kombiniert mit chronischer Bronchitis: Obstruktion (kritisch in Bronchiolen: kleines Kaliber, keine steife Wand)



Atemmechanik: Pleura

- Pleura

- seröse Haut (glatt, feucht, glänzend) mit 2 Blättern, dazwischen Pleuraspalt, Übergang beim Hilum
- Pleura viszeralis (Lungenfell) bedeckt Lunge, dringt in Fissuren ein (nicht zwischen Segmente)
- Pleura parietalis (Brustfell) bedeckt mit 3 Abschnitten (Pleura mediastinalis, diaphragmatica, costalis) Wände der Pleurahöhle, Kuppel überragt erste Rippe
- Kraftübertragung durch Unterdruck im Pleuraspalt bei Inspiration: Ausdehnung der Lunge mit Thorax und in durch Absenkung des Diaphragmas geöffneten Recessus costodiaphragmaticus

- Pneumothorax

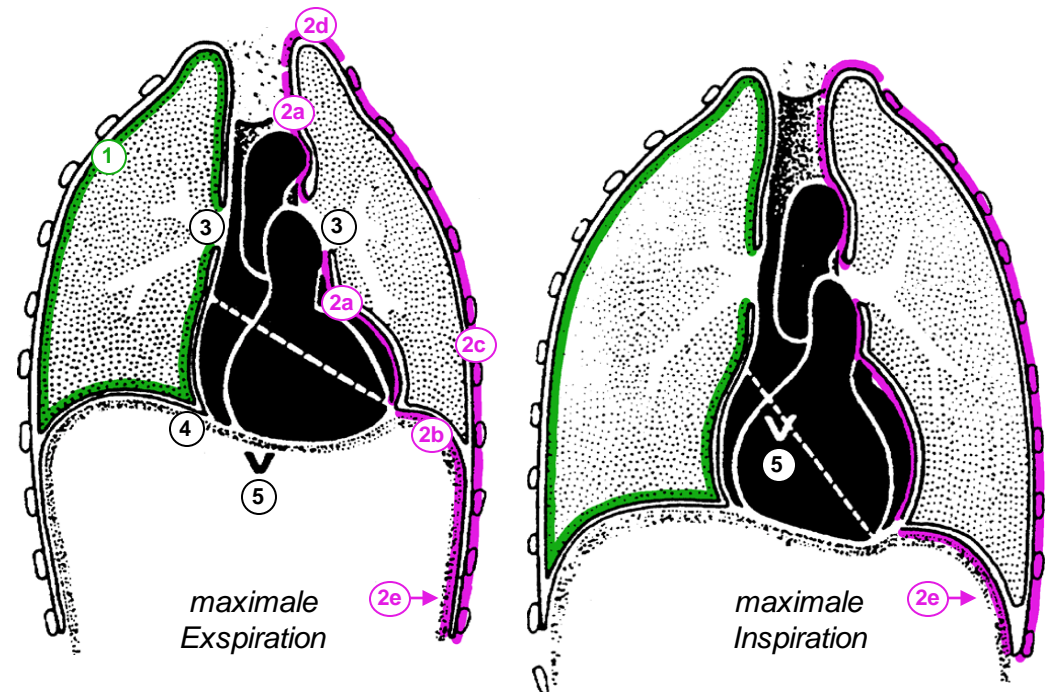
- Luft im Pleuraspalt → Kollaps der Lunge (bei Defekt in Lunge oder Thoraxwand)

- Pleuraerguss

- Flüssigkeit im Pleuraspalt (Kreislaufstörung, Entzündung, Tumor)

- 1 Pleura viszeralis
- 2 Pleura parietalis
 - 2a mediastinalis
 - 2b diaphragmatica
 - 2c costalis
 - 2d Pleurakuppel
 - 2e Recessus costodiaphragmaticus

- 3 Hilum
- 4 Diaphragma
- 5 Xyphoid (Brustbein)



Atemmechanik: Atemmuskeln

- Ruheatmung: va. Zwerchfellatmung
- Arbeit oder erhöhte Atemwiderstand:
Zuschaltung der Rippenatmung, ev Hilfsmuskeln
- **Inspiration**
 - Zwerchfellatmung: Senkung des Diaphragma durch Kontraktion, Zunahme des axialen Thorax-Durchmessers & Öffnung Recessus costodiaphragmaticus, Zwischenrippenmuskeln stabilisieren Thorax
 - Rippenatmung: Anheben der Rippen durch äussere Zwischenrippenmuskeln, Zunahme des transversalen Thorax-Durchmessers
 - inspiratorische Hilfsmuskeln helfen Rippen heben
- **Expiration**
 - Zwerchfellatmung: Anheben des Diaphragma durch elastische Lungenretraktion
 - Rippenatmung: Senken der Rippen durch innere Zwischenrippenmuskeln
 - Bauchmuskeln helfen Rippen senken, erhöhen Druck im Abdomen: expiratorische Hilfsmuskeln für Zwerchfell- und Rippenatmung

