

---

# Atmungssystem

## Trachea, Lungen, Thorax

---

David P. Wolfer

Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich

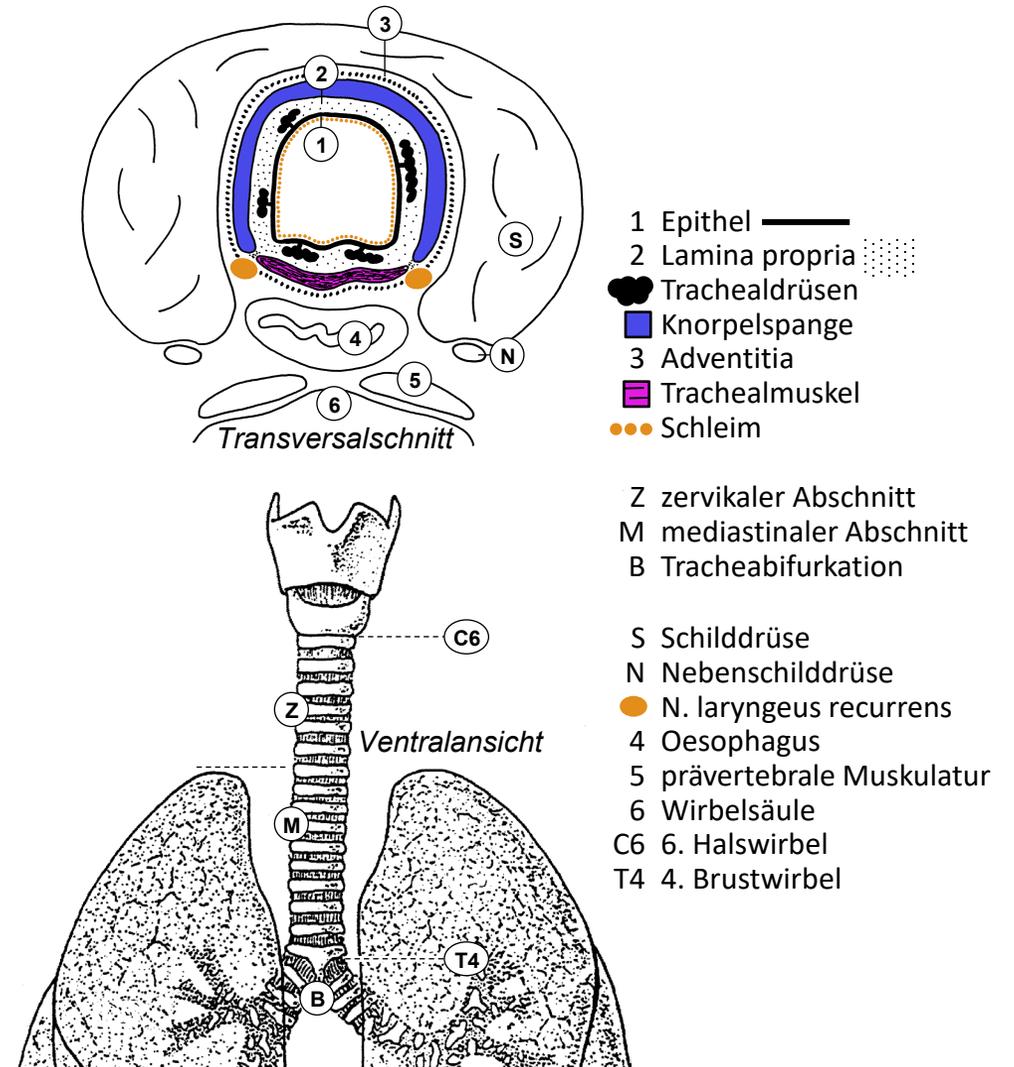
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

376-0151-00 Anatomie und Physiologie I

Mi 13.12.2023 08:00-09:45

# Trachea

- Trachea = Luftröhre
  - Beginn: kaudaler Rand Ringknorpel (ca. Höhe 6. Halswirbel)
  - zervikaler (Hals-), mediastinaler (Brust-) Abschnitt
  - Tracheabifurkation → Hauptbronchien (ca. Höhe 4. Brustwirbel)
- Wandbau Trachea
  - Tunica mucosa (Mucosa, Schleimhaut): Lamina epithelialis = respiratorisches Epithel + Lamina propria = Bindegewebe mit vielen elastischen Fasern (bewirken Trachealzug) und seromukösen Trachealdrüsen (Luftbefeuchtung, Unterstützung der Becherzellen)
  - Tunica fibrocartilaginea (Bindegewebe-Knorpel-Schicht) lateral und ventral: hyaline Knorpelspangen, dazwischen Ligamente (Bänder)
  - Trachealmuskel nur dorsal (glatte Muskulatur)
  - Tunica adventitia (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



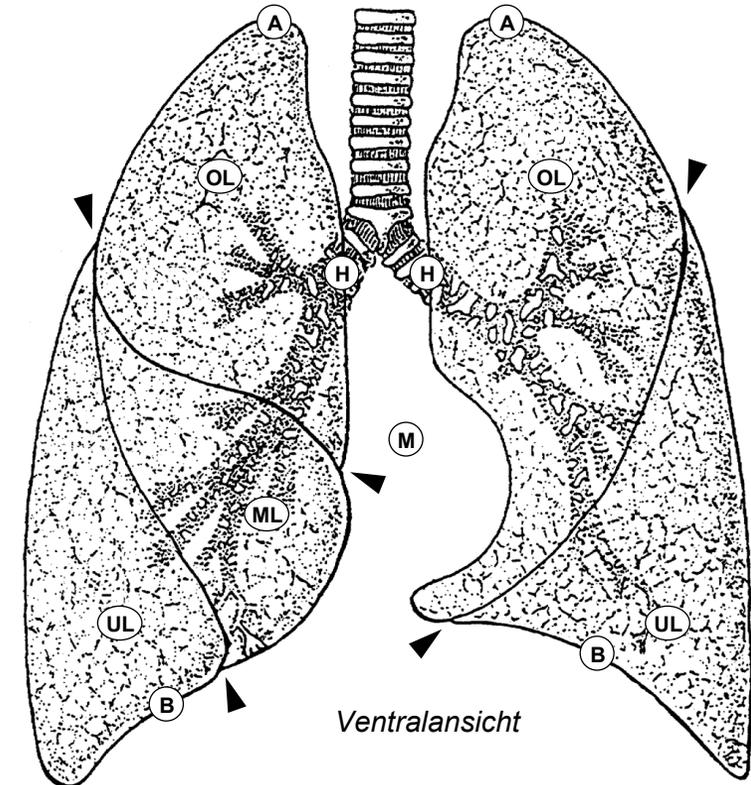
# Lunge

- Gliederung

- Lappen: rechte Lunge 3, linke 2: getrennt durch Fissuren (tiefe Einschnitte, ermöglichen chirurgische Lappenresektion)
- Segmente: rechts 10, links 9, getrennt durch vollständige Bindegewebesepten (ermöglichen chirurgische Segmentresektion)
- Lobuli (Läppchen): ca. 10,000, Ø 0.8-2cm, getrennt durch unvollständige Bindegewebesepten (feine dunkle Zeichnung auf Lungenoberfläche)
- Azini: ca. 100,000, Ø 3-8mm, keine Begrenzung durch Bindegewebe, nur mikroskopisch identifizierbar
- Alveolen (Lungenbläschen): ca. 350 Mio, Ø 50-250µm, totale Austauschfläche  $\Sigma$  80-130m<sup>2</sup> (1/2 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 Luftwege, konduktiv

- Luftwege

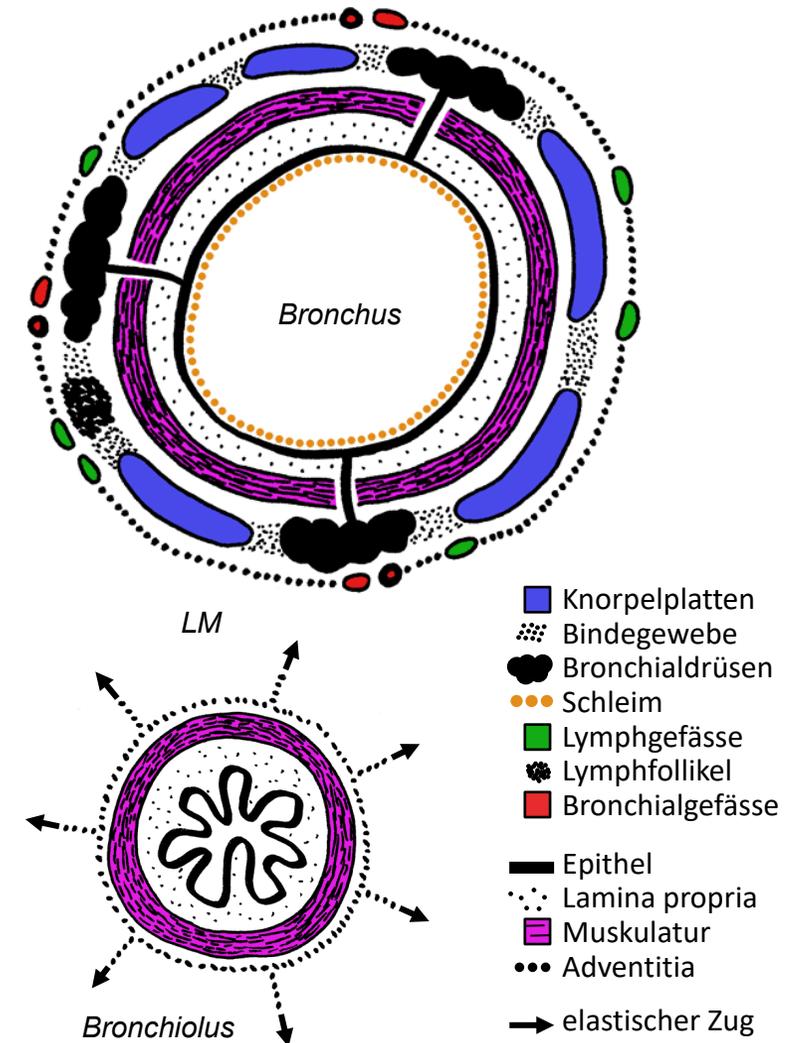
- extrapulmonal: Nase – Hauptbronchien,
- intrapulmonal: Lappenbronchien – Alveolen
- konduktiv: Nase – Bronchiolus terminalis, kein Gasaustausch: «Totraum», fortgesetzte Erwärmung, Befeuchtung und Reinigung der Atemluft

- Bronchus

- Lappenbronchus, Segmentbronchus, Subsegmentbronchus
- Wandbau: Schleimhaut (respiratorisches Epithel + Lamina propria); Muskelschicht; hyaline Knorpelplatten, lymphatisches Gewebe und muköse Bronchialdrüsen; Adventitia mit Bronchialarterien, -venen und Lymphgefäßen

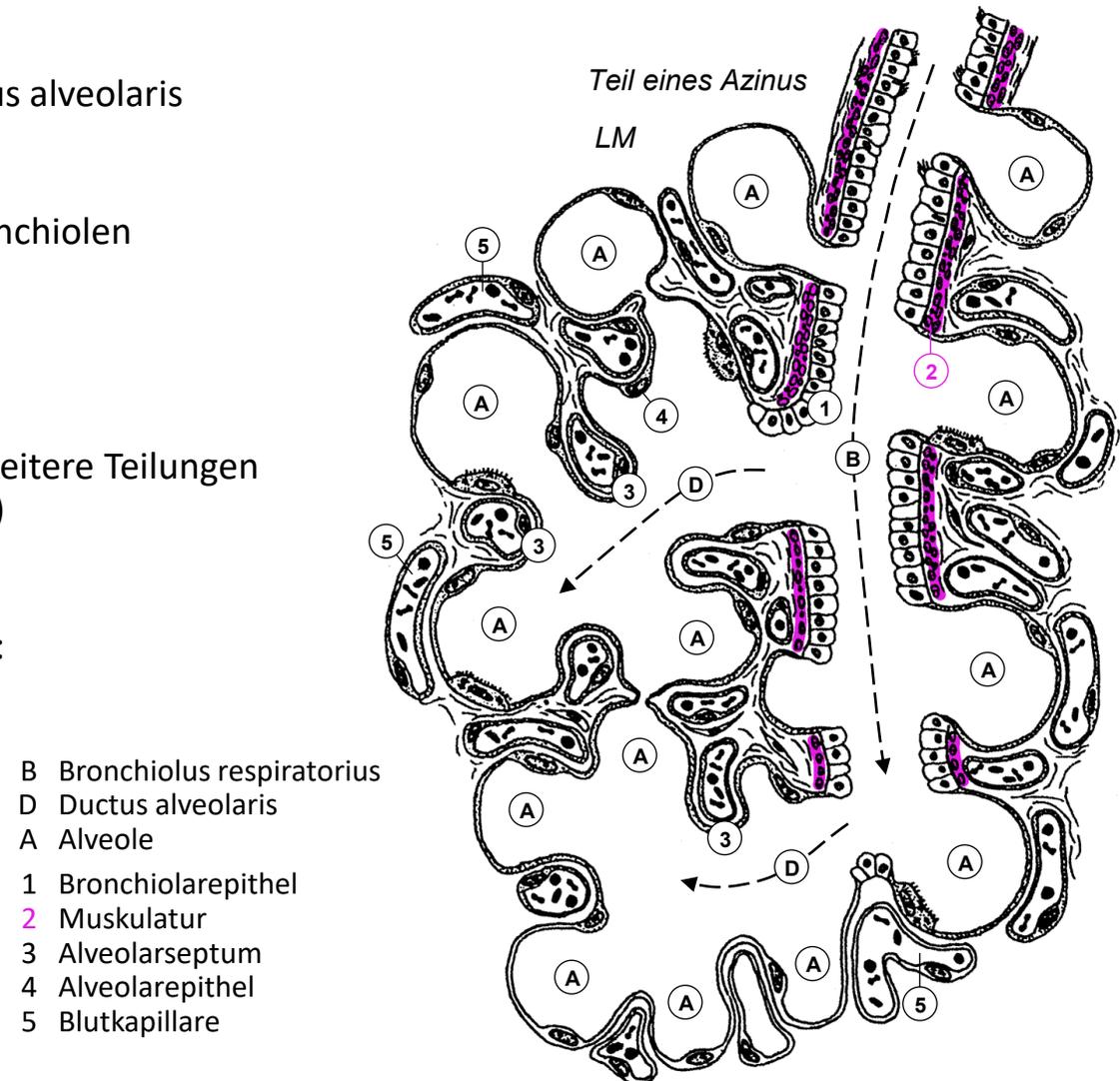
- Bronchiolus

- $\varnothing < 1\text{mm}$ , grösste belüfteten Lobulus, 3-4 Teilungen innerhalb Lobulus
- Bronchiolus terminalis (letzter konduktiver Abschnitt) belüftet Azinus
- Wandbau: Schleimhaut, dünne und nicht versteifte Wand (keine Bronchialdrüsen, kein Knorpel, keine Bronchialgefäße)
- Zug durch elastisches Lungengewebe verhindert Kollaps bei Expiration, durch Muskelschicht stark verengbar  $\rightarrow$  Schleimhautfalten
- Problemstrecke für Atemwiderstand bei obstruktiven Lungenerkrankungen: übermässige Kontraktion der Muskulatur, Verlegung durch Sekret. Emphysem: Kollaps durch Bernoulli-Effekt und Verlust elastischen Zugs



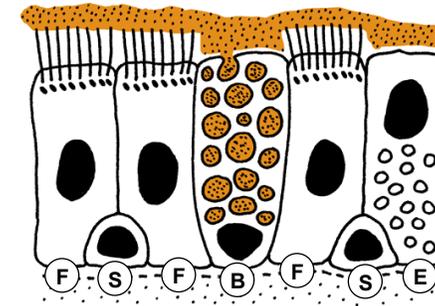
# Intrapulmonale Luftwege, respiratorisch

- respiratorische Zone / Abschnitte
  - Beitrag zu Gasaustausch, Bronchiolus respiratorius – Ductus alveolaris
- 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



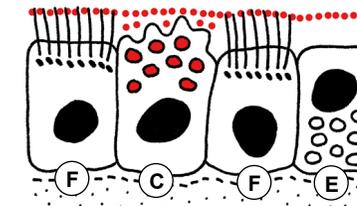
# Intrapulmonale Luftwege, Epithel

- Bronchus, Bronchiolus
  - hochprismatisch mehrreihiges respiratorisches Epithel wie Nase, Epi-& Hypopharynx, Larynx, Trachea und Hauptbronchien
  - Becherzellen zahlreich in Lappen-, Segment-, Subsegmentbronchien, verschwinden im Bronchiolus allmählich.
  - Kinozilien bewegen Schleim in Richtung Pharynx → Aushusten
  - endokrine Zellen regulieren Blutfluss, Belüftung und Sekretion
- Bronchiolus terminalis
  - Club-Zellen (Keuzenzellen, Clara-Zellen) ersetzen Becherzellen gegen Peripherie, bilden dünnflüssiges Sekret, Flimmerzellen noch vorhanden
  - Epithel wird kubisch und einschichtig.
- Bronchiolus respiratorius
  - Club-Zellen ersetzen Becherzellen und Flimmerzellen vollständig
  - einzelne Alveolarzellen Typ II: bilden Surfactant (Phospholipid-Monolayer) → Reduktion der Oberflächenspannung, Verhindert Kollaps → determiniert Lungenreife beim Fetus
  - Keine Schleimbildung und Kinozilien mehr, Reinigung durch Alveolar-Makrophagen (residente Makrophagen der Lunge): Feinstaub, Bakterien, Zelltrümmer

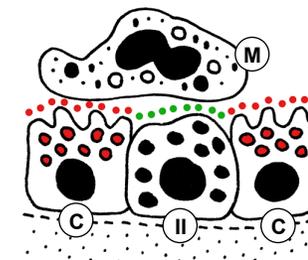


Bronchus, grosser Bronchiolus

LM



Bronchiolus terminalis



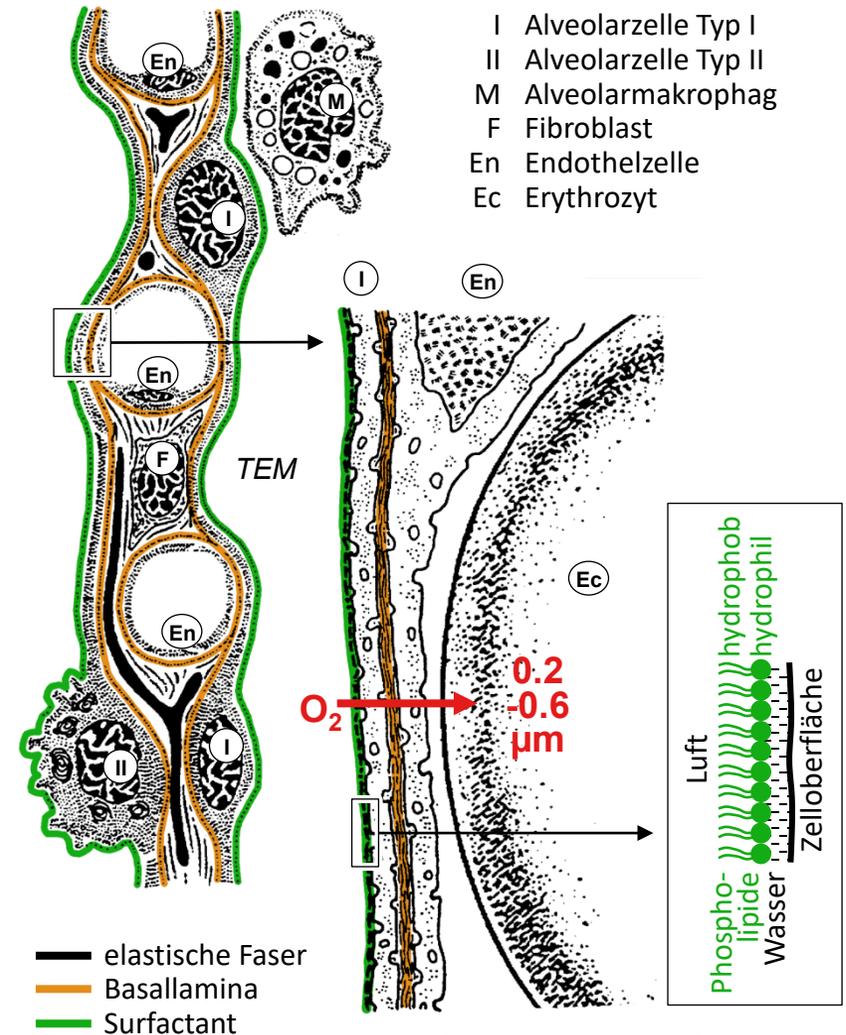
Bronchiolus respiratorius

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

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

# Alveolarseptum

- **Alveolarepithel:** Alveolarzellen
  - Typ I (AT1): sehr flach, Innenauskleidung Alveolen, maximale Fläche und minimale Diffusionsstrecke für Gasaustausch
  - Typ II (AT2): in Nischen, rundlich, bilden Surfactant, sind auch Stammzellen
- **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, Übergang beim Hilum, zwischen Blättern Pleuraspalt
- Pleura viszeralis (Lungenfell) bedeckt Lunge, dringt in Fissuren ein (zwischen Lappen, nicht zwischen Segmente)
- Pleura parietalis (Brustfell) bedeckt mit 3 Abschnitten (Pleura mediastinalis, diaphragmatica, costalis) Wände der Pleurahöhle
- Flüssigkeitsfilm im Pleuraspalt nicht dehnbar: Lunge verschieblich, folgt aber Ausdehnung des Thorax und Abflachung des Diaphragmas, dehnt sich in durch Absenkung des Diaphragmas geöffneten Recessus costodiaphragmaticus aus.

- Pleurakuppel

- überragt erste Rippe
- Nerven und Blutgefäßen für Arm direkt benachbart, Gefahr von Pneumothorax bei Venenpunktion

- Pneumothorax

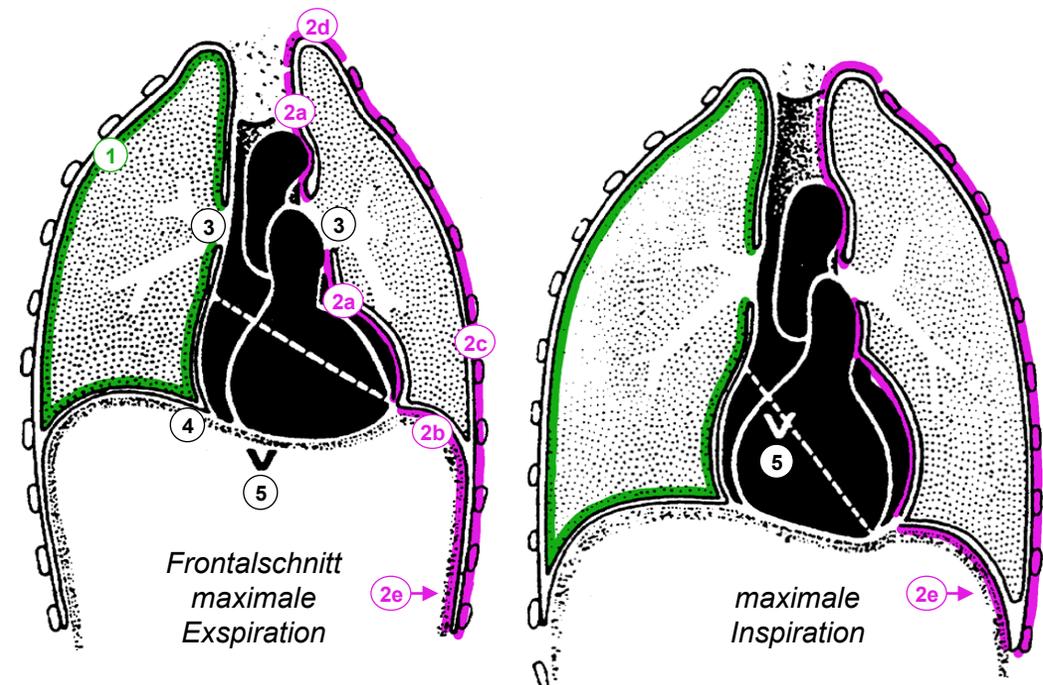
- Luft im Pleuraspalt bei Defekt in Lunge oder Thoraxwand  
→ Kollaps der Lunge

- Pleuraerguss

- vermehrt Flüssigkeit im Pleuraspalt bei Kreislaufstörung, Entzündung oder 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 erhöhter Atemwiderstand:  
Zuschaltung der Rippenatmung, ev Hilfsmuskeln
- Inspiration
  - Zwerchfellatmung: Senkung des Diaphragma (= Zwerchfell) durch Kontraktion der Muskelfasern, 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: passives 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

