

---

# Atmungssystem

## Trachea, Lungen, Thorax

---

David P. Wolfer

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

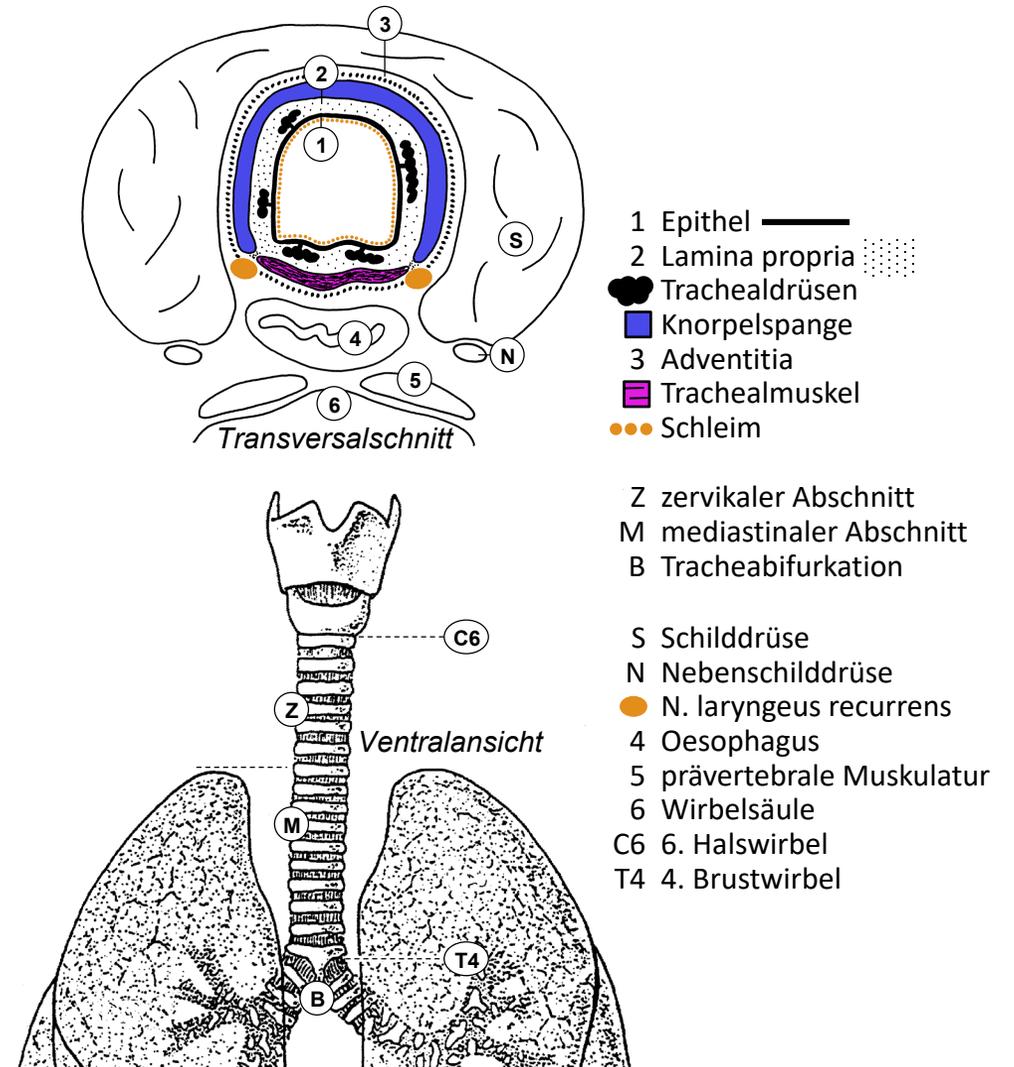
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

376-0151-00 Anatomie und Physiologie I

Mi 09.12.2020 08-10h online

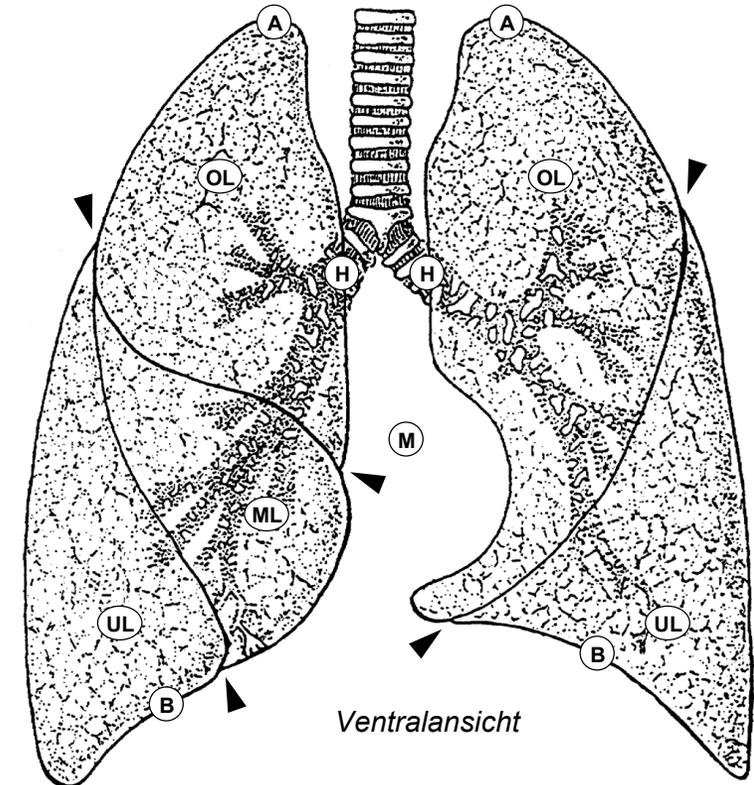
# Trachea

- Trachea = Luftröhre
  - Begin: 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 lateral und ventral: hyaline Knorpelspangen, dazwischen Ligamente
  - 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 (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  $\Sigma$  80-130m<sup>2</sup> (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

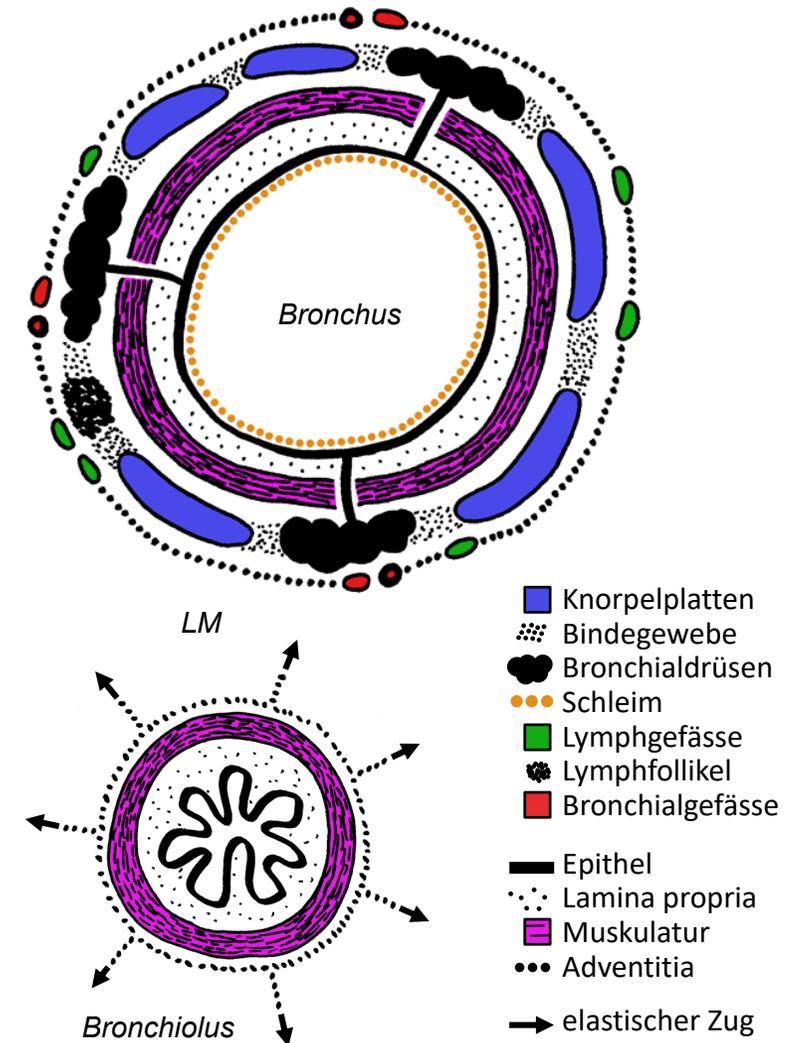


OL Oberlappen (Lobus sup.)      A Lungenspitze (Apex)  
ML Mittellappen (Lobus med.)      B Basis  
UL Unterlappen (Lobus inf.)      M Mediastinum  
H Hilum

▶ Fissuren (Fissura obliqua, horizontalis)

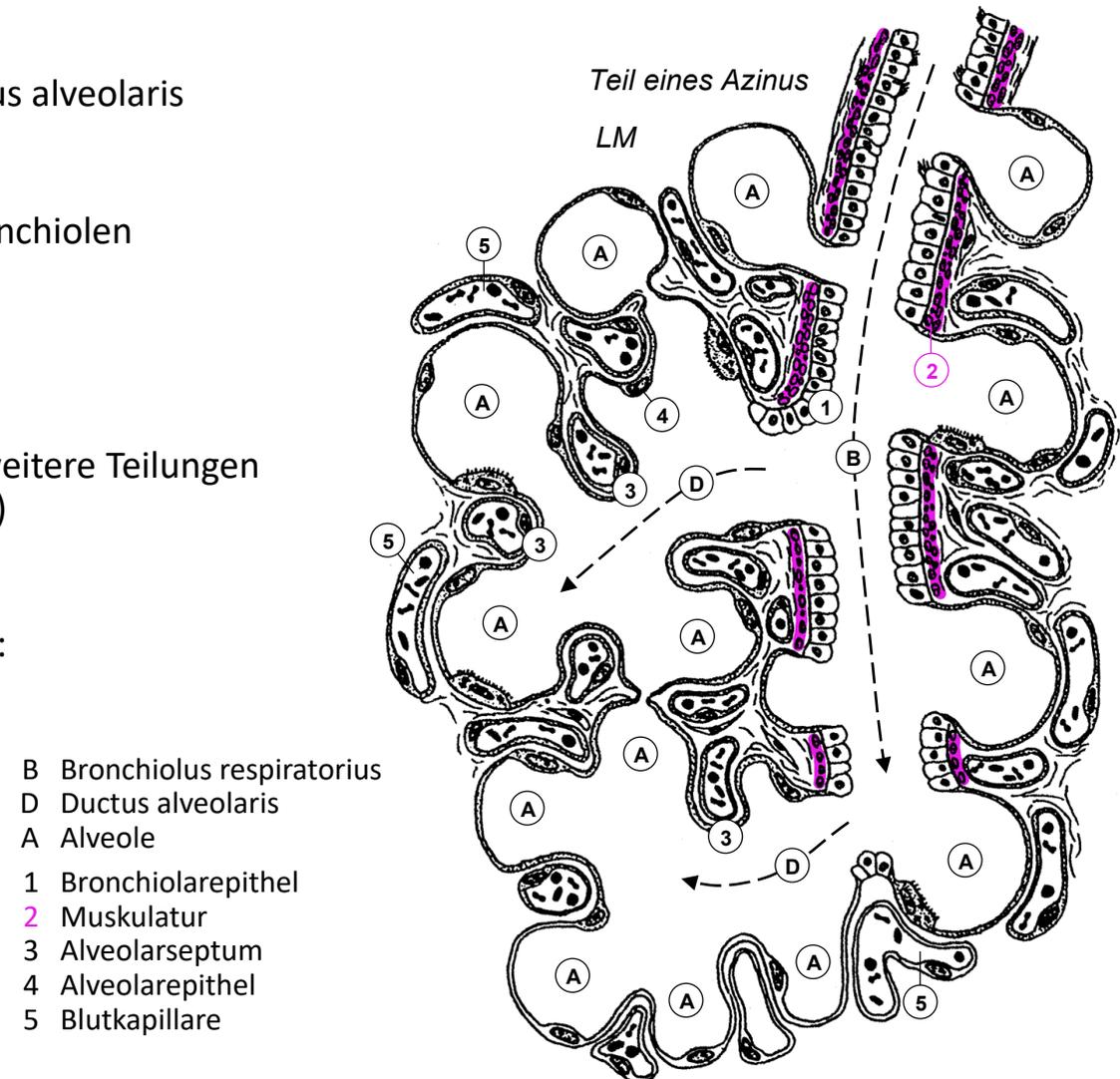
# Intrapulmonale Luftwege, konduktiv

- 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 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



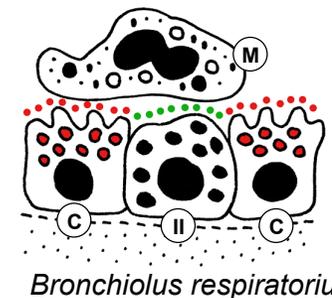
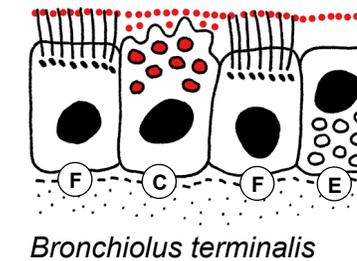
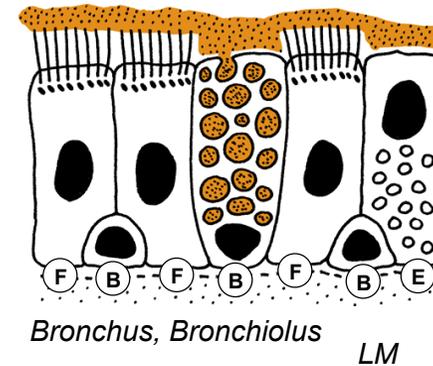
# Intrapulmonale Luftwege, respiratorisch

- respiratorische 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 im Bronchus noch durch Bronchialdrüsen unterstützt, Bronchialdrüsen nehmen gegen Peripherie ab, fehlen im Bronchiolus
  - Kinozilien bewegen Schleim in Richtung Pharynx → Aushusten
  - endokrine Zellen regulieren Blutfluss, Belüftung und Sekretion
- Bronchiolus terminalis
  - Clarazellen ersetzen Becherzellen allmählich gegen Peripherie, bilden dünnflüssiges Sekret statt Schleim, Flimmerzellen noch vorhanden
  - Epithel wird kubisch und einschichtig
- Bronchiolus respiratorius
  - Clarazellen ersetzen Becherzellen und Flimmerzellen 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

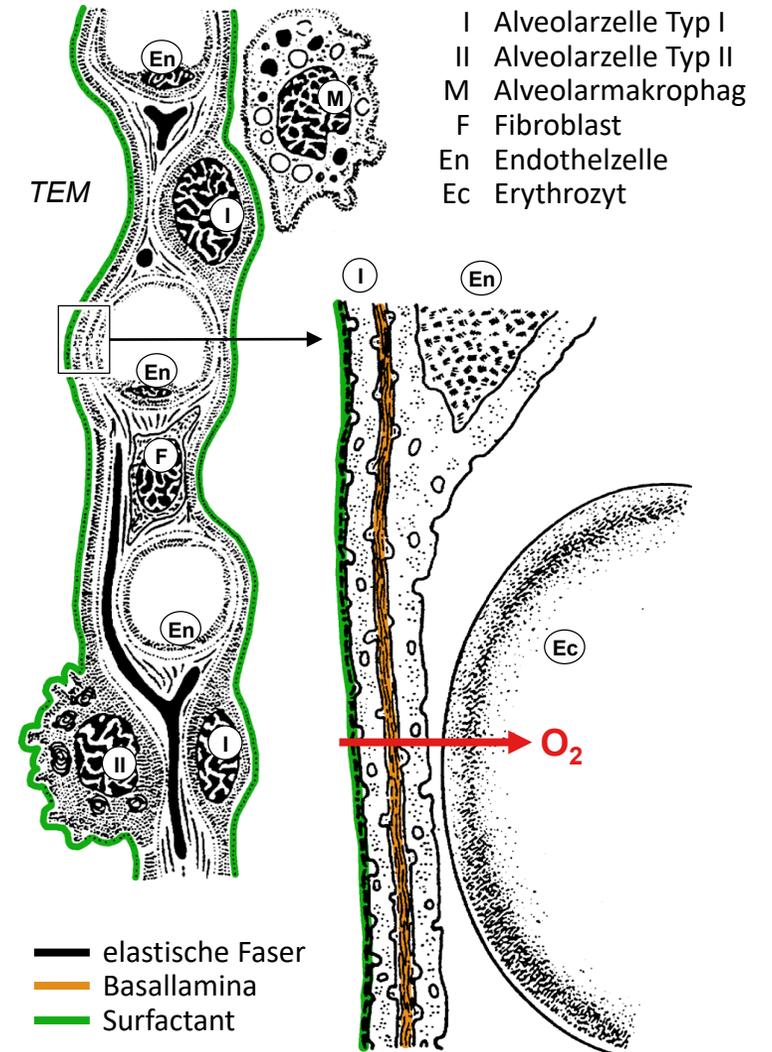


- F Flimmerzelle
- S Stammzelle
- B Becherzelle
- E endokrine Zelle
- C Clara-Zelle
- II Alveolarzelle Typ II
- M Alveolarmakrophag

- - - 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
- Flüssigkeitsfilm im Pleuraspalt nicht dehnbar: Ausdehnung der Lunge mit Thorax und in durch Absenkung des Diaphragmas geöffneten Recessus costodiaphragmaticus

- Pleurakuppel

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

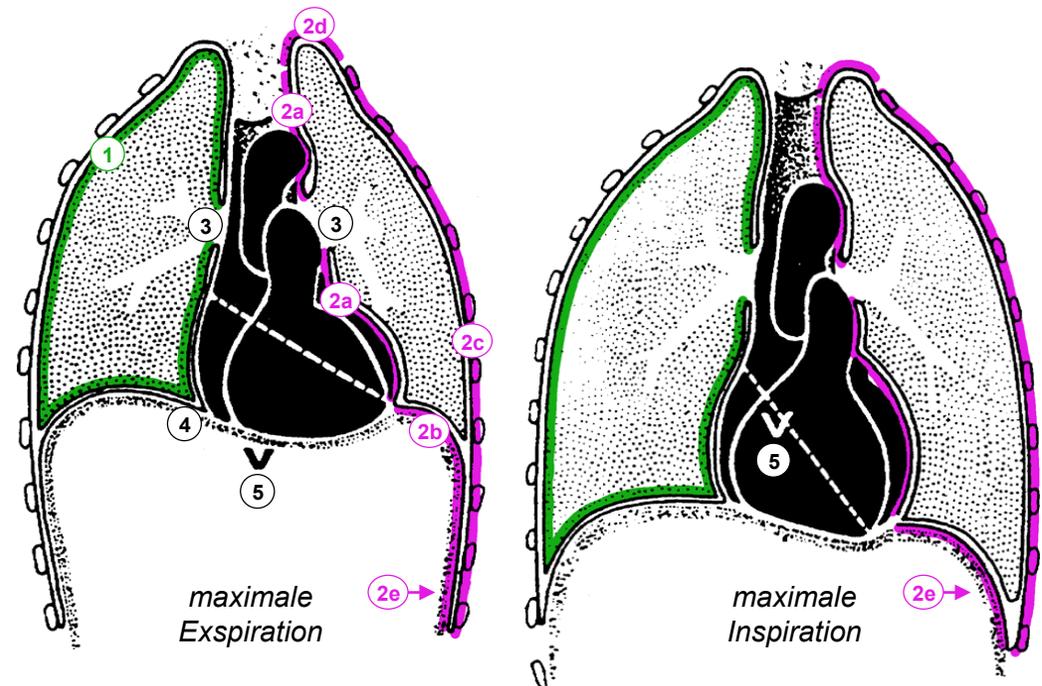
- Pneumothorax

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

- Pleuraerguss

- 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 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

