
Atmungssystem

Trachea, Lungen, Thorax

David P. Wolfer

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

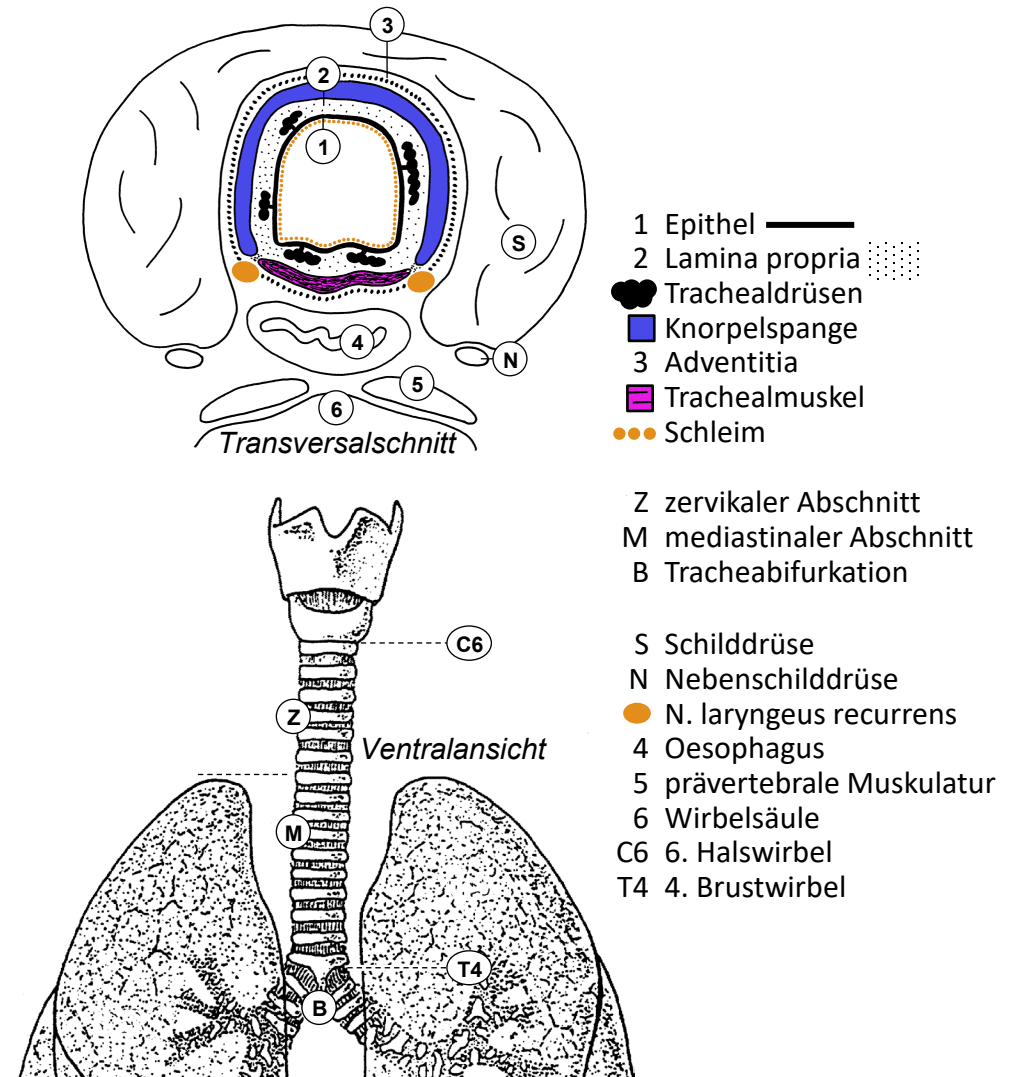
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

376-0151-00 Anatomie und Physiologie I

Mi 14.12.2022 08:00-09:45

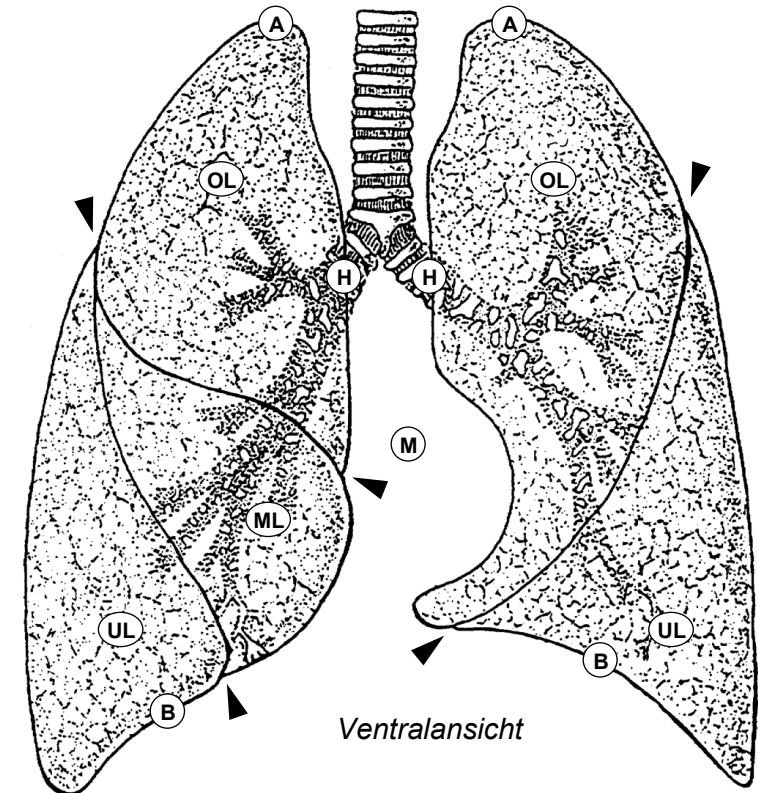
Trachea

- 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 (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 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 Luftwege, konduktiv

- Luftwege

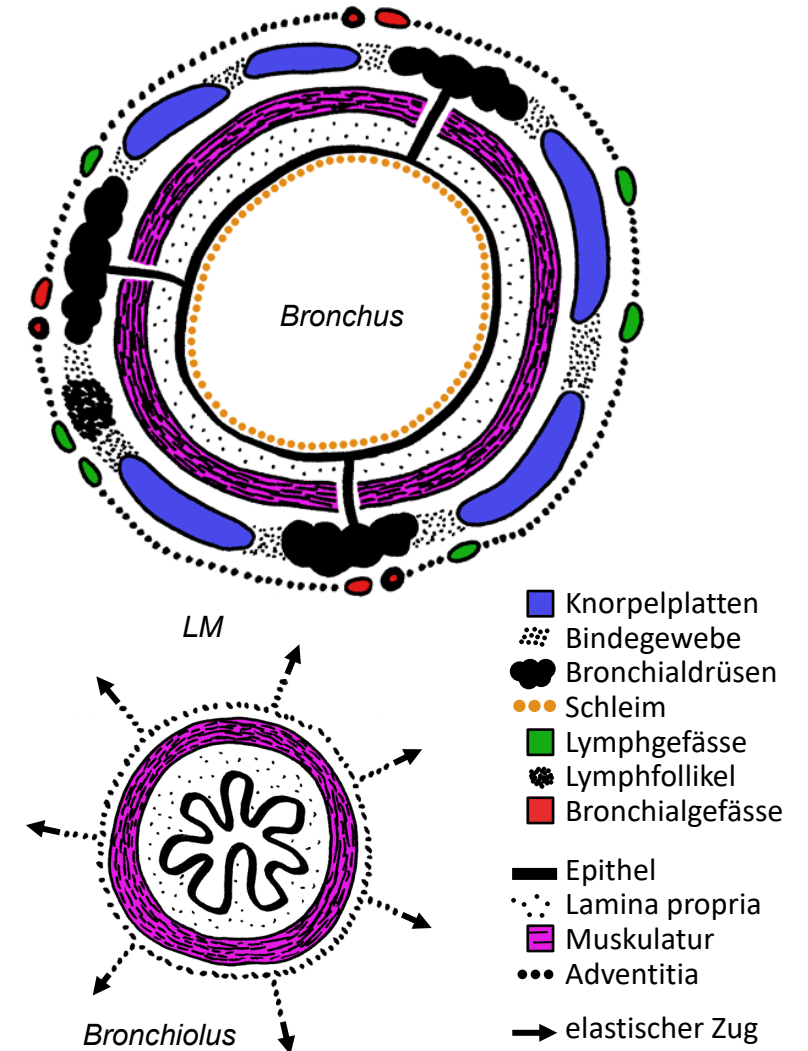
- extrapulmonal: Nase – Hauptbronchien,
- intrapulmonal: Lappenbronchien – Alveolen
- konduktiv: Nase – Bronchiolus terminalis, kein Gasaustausch: «Totraum», fortgesetzte Erwärmung, Befeuchtung und Reinigung der Atemluft

- Bronchus

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

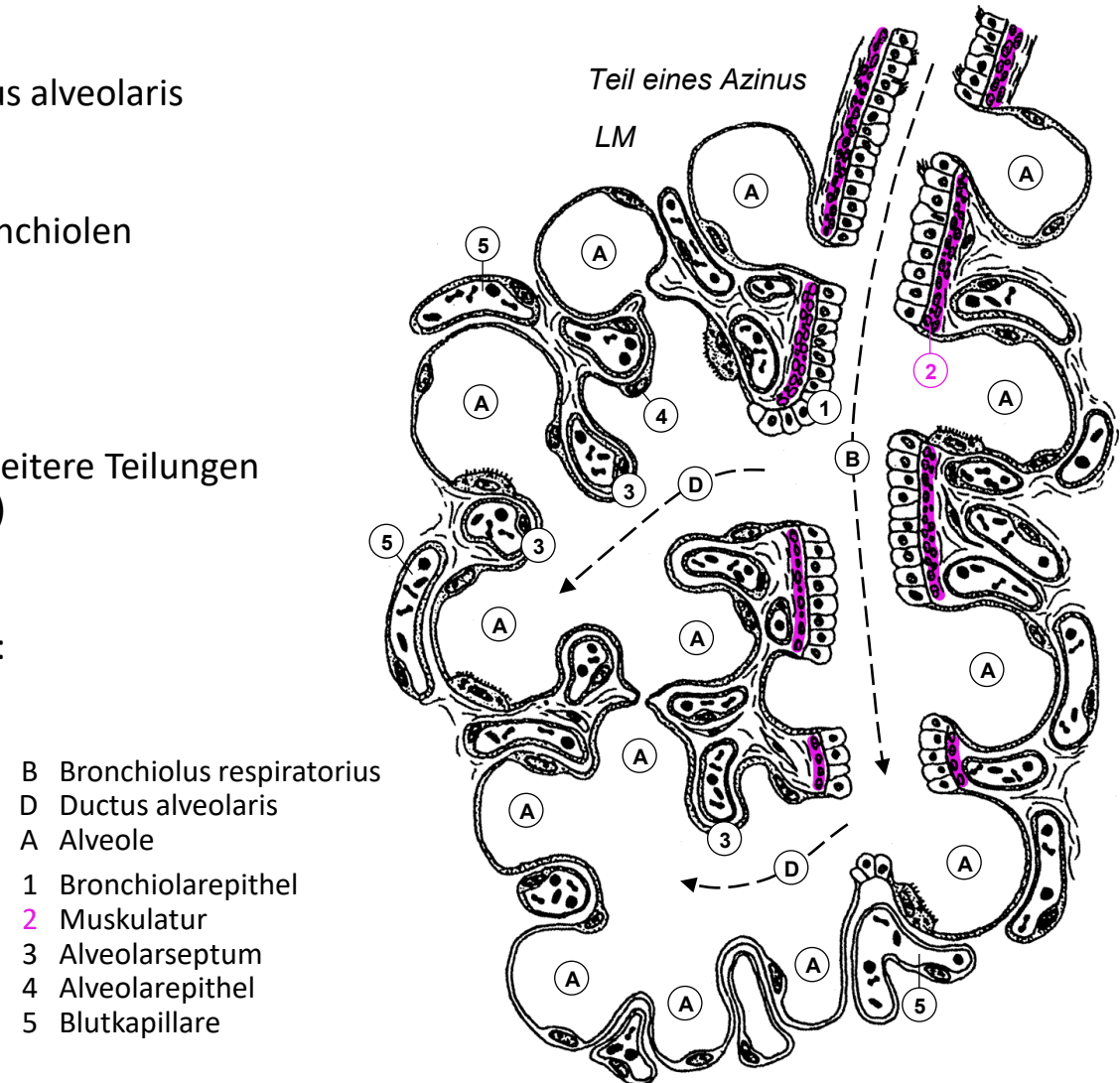
- Bronchiolus

- $\varnothing < 1\text{mm}$, 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



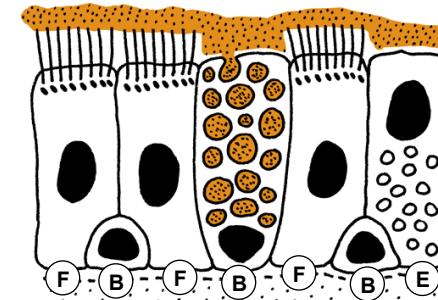
Intrapulmonale Luftwege, respiratorisch

- 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



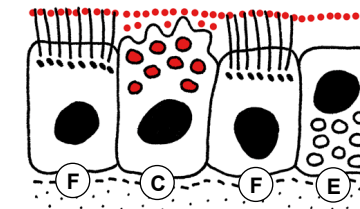
Intrapulmonale Luftwege, Epithel

- 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
 - 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

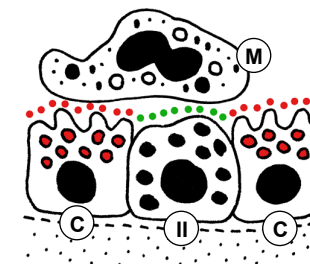


Bronchus, grosser Bronchiolus

LM



Bronchiolus terminalis



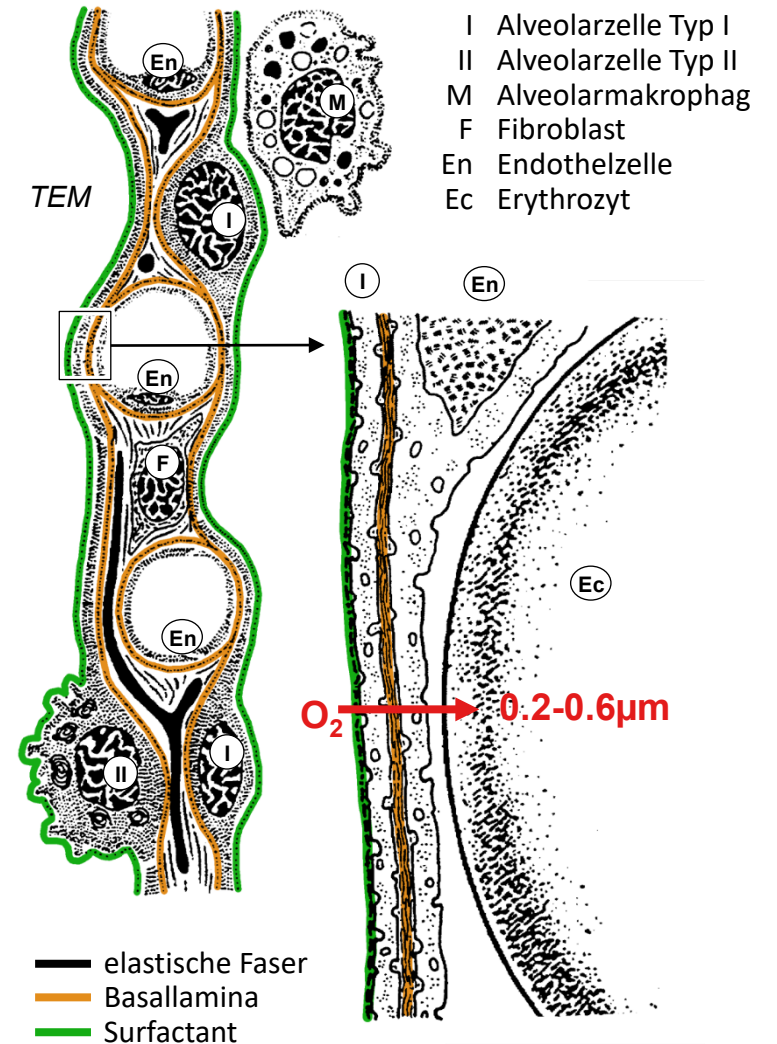
Bronchiolus respiratorius

- 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 Diaphragma, dehnt sich in durch Absenkung des Diaphragma geöffneten Recessus costodiaphragmaticus aus.

- Pleurakuppel

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

- Pneumothorax

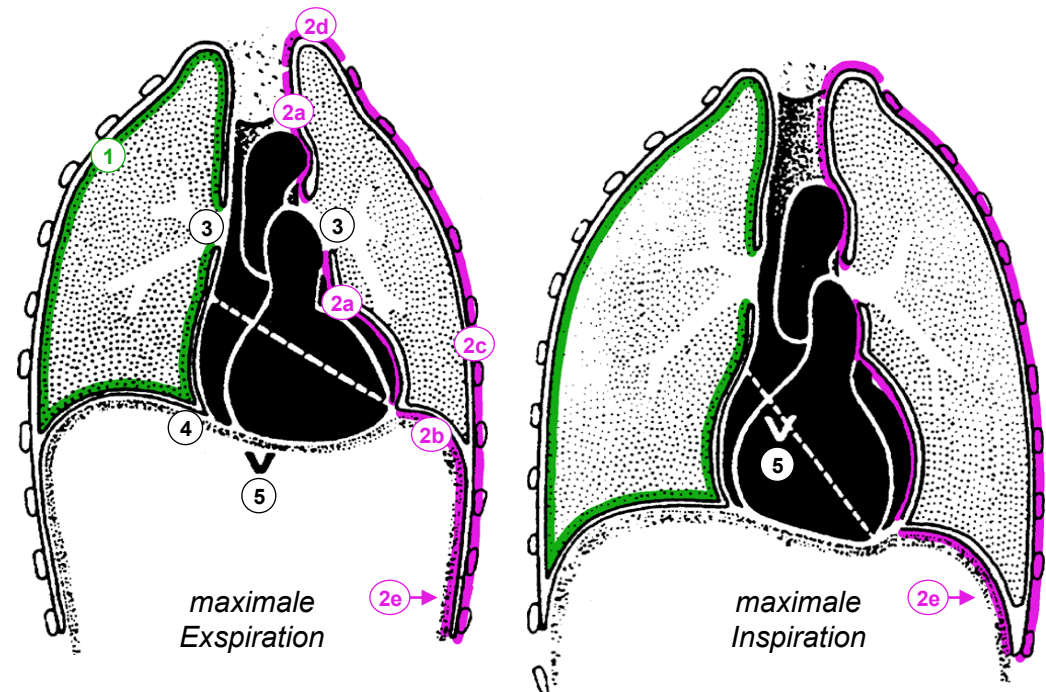
- Luft im Pleuraspalt bei Defekt in Lunge oder Thoraxwand
→ Kollaps der Lunge

- 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

