

Atmung I

Atemmechanik

Lernziele Atemphysiologie I (Atemmechanik)

Die Studierenden sollen fähig sein:

- die Ventilation unserer Lunge über die Aktivität des Zwerchfells und der Interkostalmuskeln zu beschreiben und die dabei im Spirometer erfassbaren Volumina bzw. Kapazitäten zu benennen.
- zu erläutern, aus welchen Komponenten die Rückstellkraft der Lunge besteht und welche Rolle sie für die Expiration hat.
- die Begriffe Totraum und Lungencompliance zu erläutern.
- die alveolären Atemgasfraktionen zu benennen.
- restriktive und obstruktive Lungenerkrankungen zu benennen und deren Risikofaktoren und mögliche Pathogenese-Mechanismen zu erläutern.

Atemmechanik

Anatomie Lunge und Atemmuskulatur

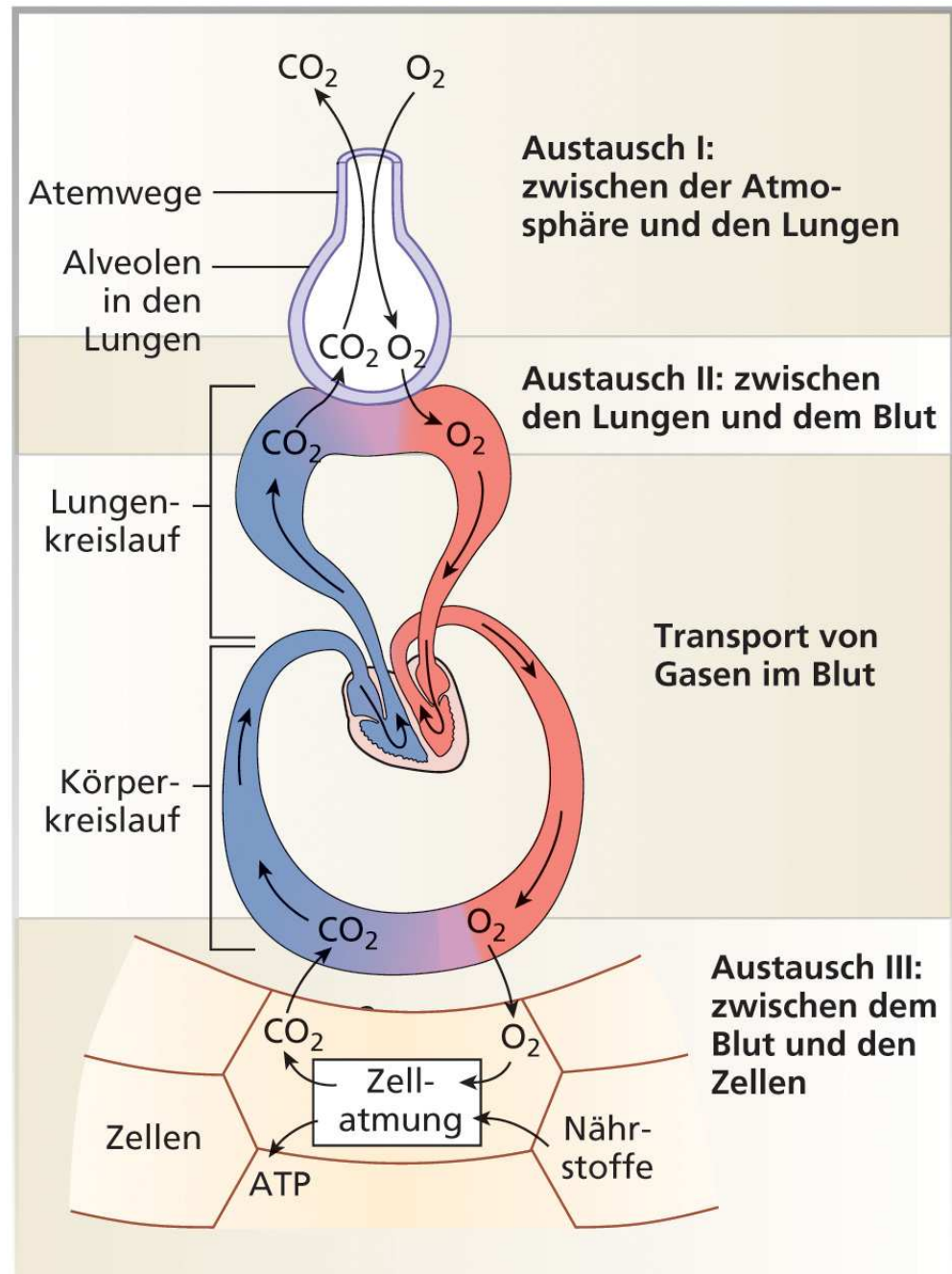
Ventilation und Spirometrie

Alveoläre Atemgasfraktionen

Elastische Atemwiderstände

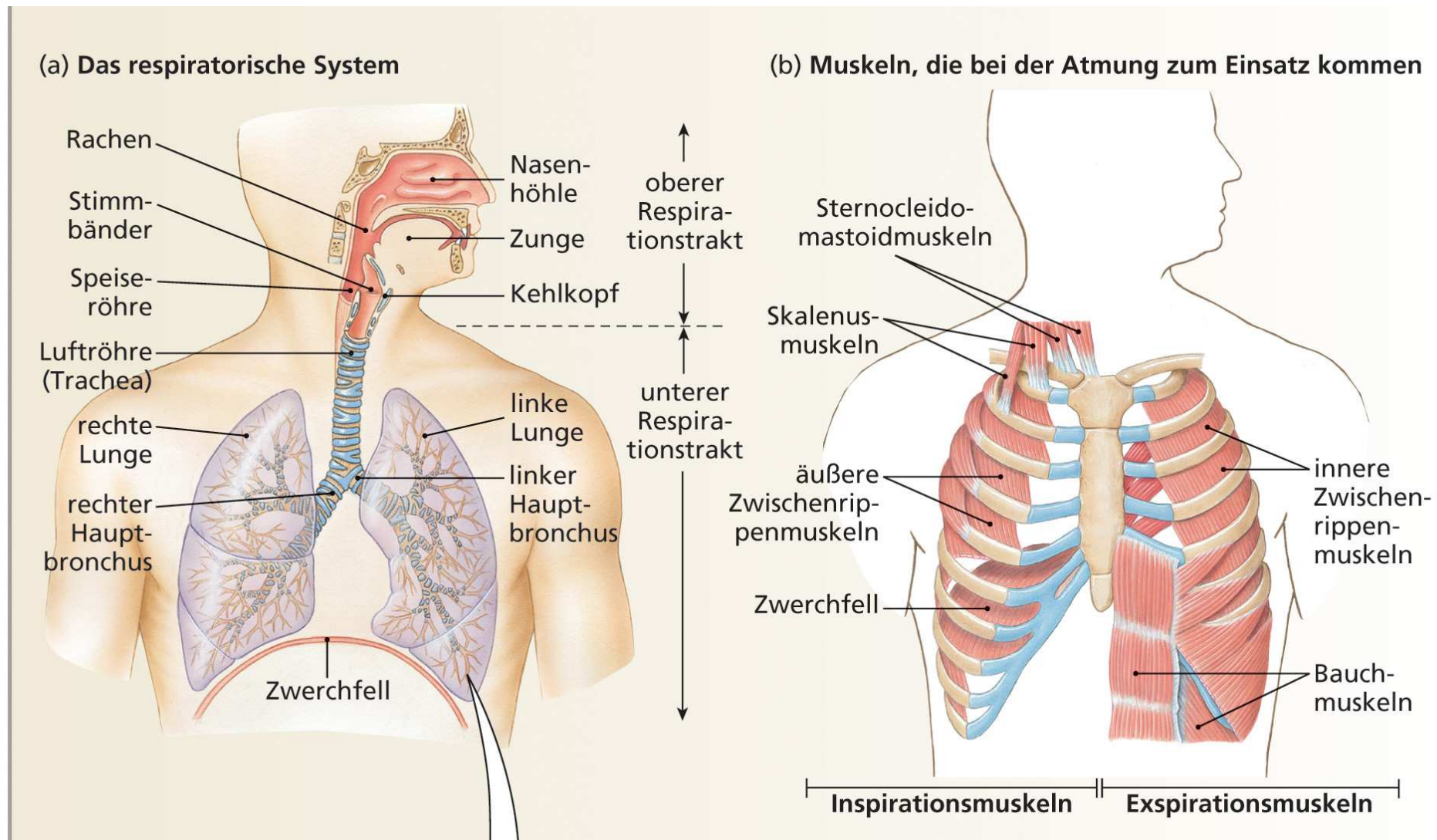
Visköse Atemwiderstände

Atmung: Zusammenspiel konvektiver und diffusiver Stofftransporte



Quelle: Silverthorn. Physiologie. Pearson Studium 2009

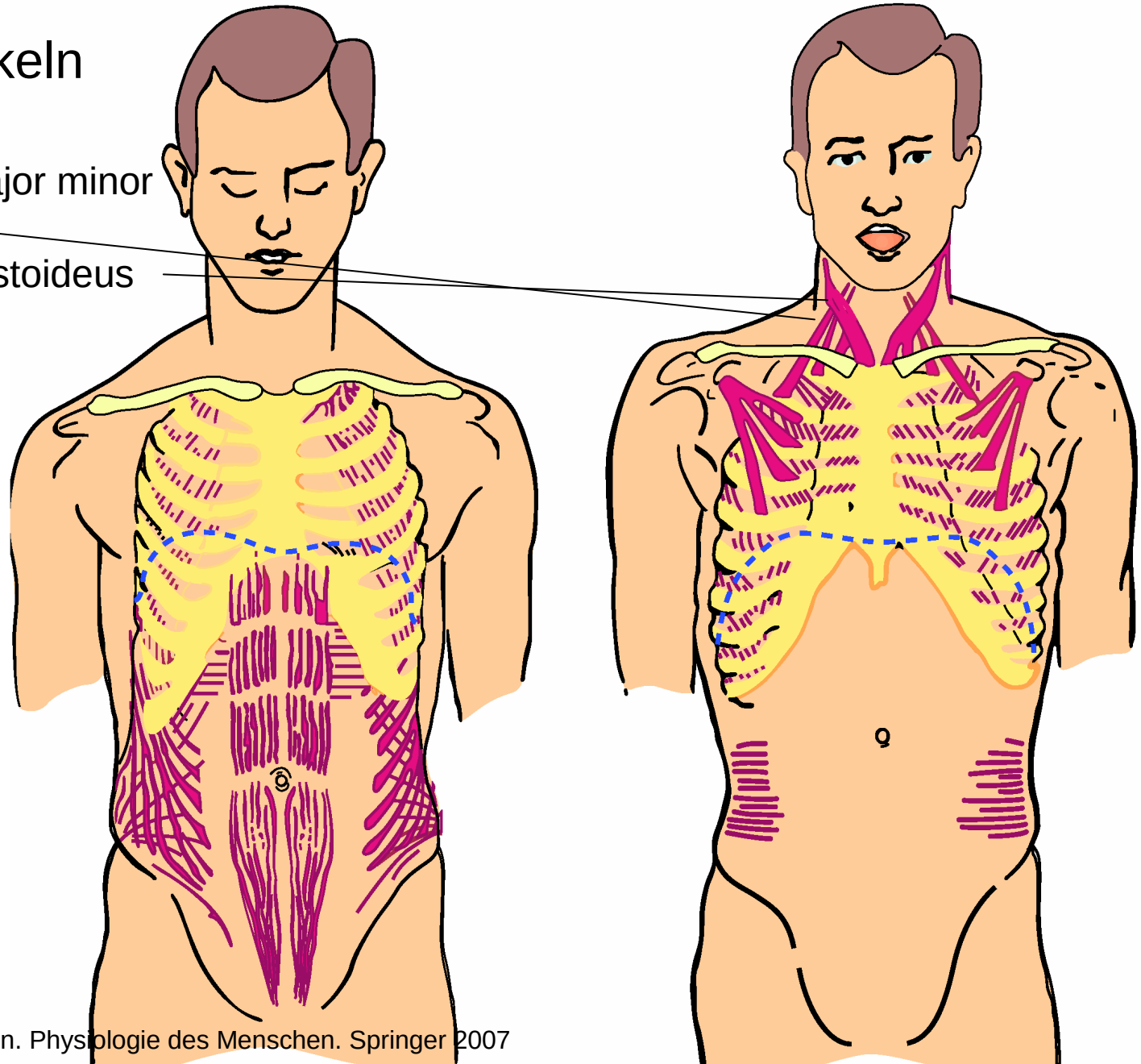
Inspiratorische und expiratorische Muskeln



Quelle: Silverthorn. Physiologie. Pearson Studium 2009

Atemhilfsmuskeln

Mm. pectorales major minor
Mm. scaleni
M. sternocleidomastoideus
Mm. serrati



Quelle: Schmidt, Lang, Heckmann. Physiologie des Menschen. Springer 2007

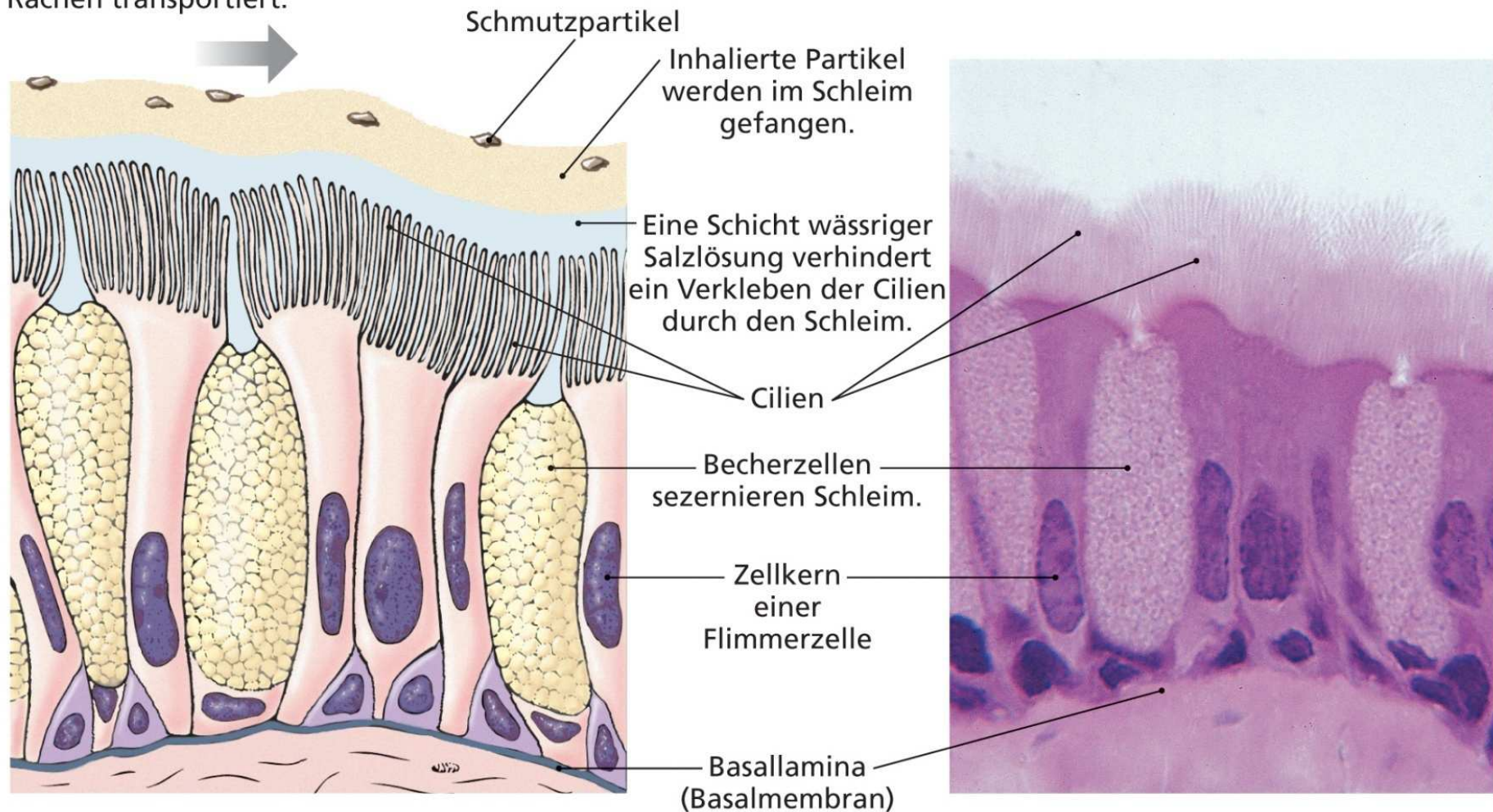
Verzweigungsmorphogenese zur Erhöhung der Austauschfläche

	Bezeichnung	Teilungen	Durchmesser (mm)	Anzahl	Querschnittsfläche insgesamt (cm ²)
Atemwege	Luftröhre (Trachea)	0	15–22	1	2,5
	Hauptbronchien	1	10–15	2	↓
	kleinere Bronchien	2	1–10	4	
		3			
		4			
		5			
		6–11		1×10^4	
	Bronchiolen	1–23	0,5–1	2×10^4	100
Austausch- oberfläche			8×10^7	5×10^3	
	Alveolen	24	0,3	$3-6 \times 10^8$	$>1 \times 10^6$

Quelle: Silverthorn. Physiologie. Pearson Studium 2009

Flimmerepithel in der Luftröhre

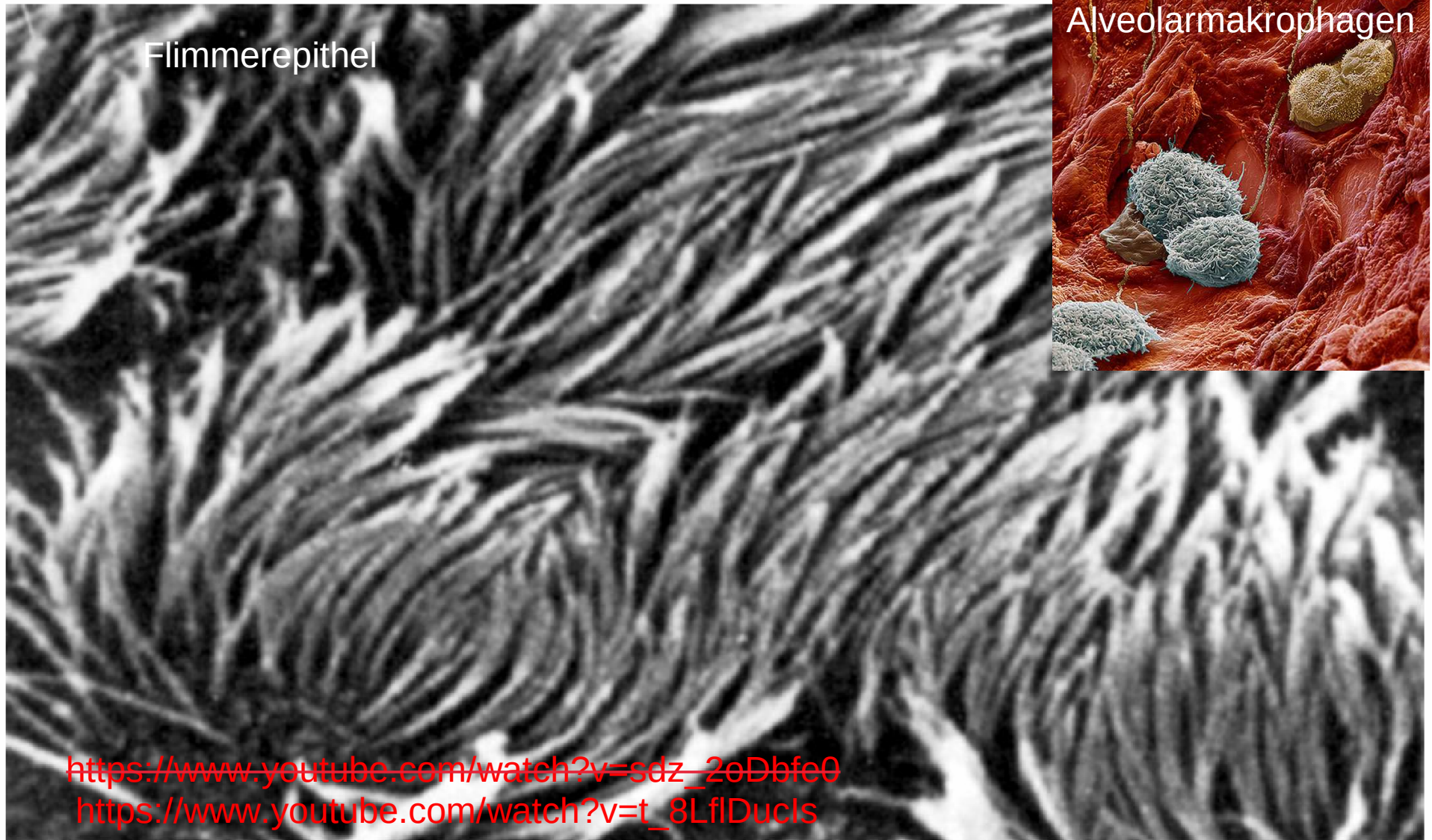
Durch die Bewegung der Cilien wird der Schleim (Mucus) zum Rachen transportiert.



Quelle: Silverthorn. Physiologie. Pearson Studium 2009

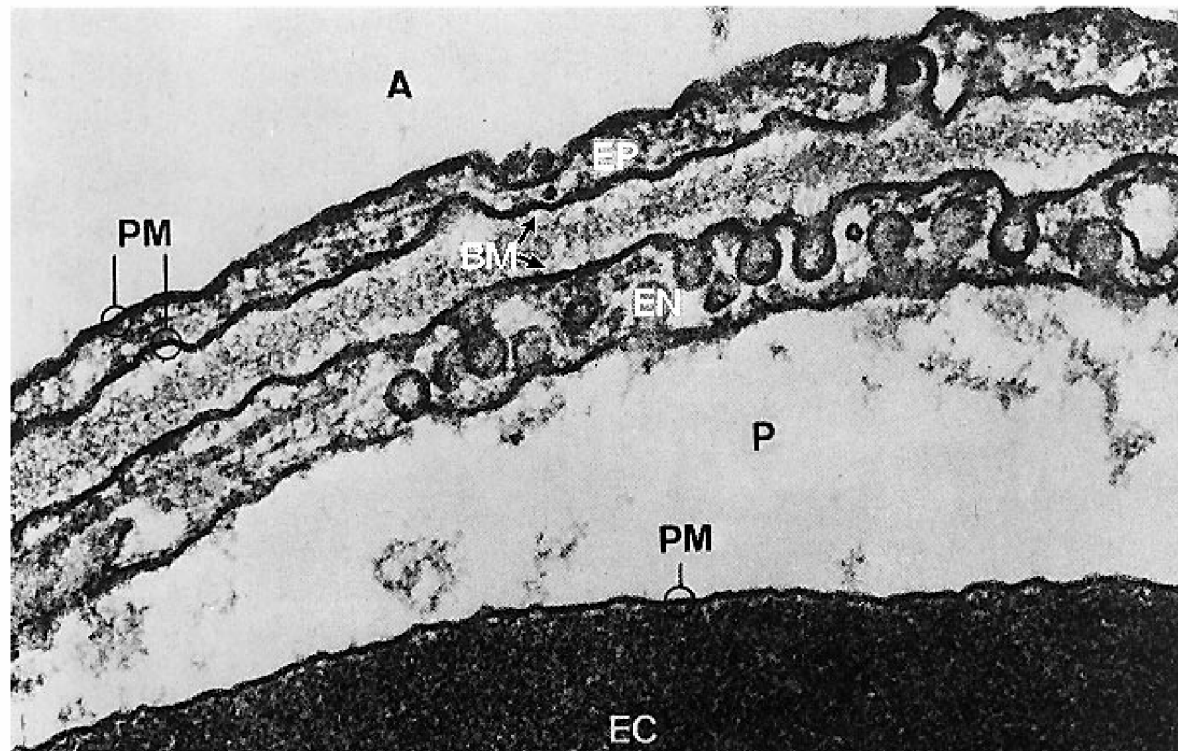
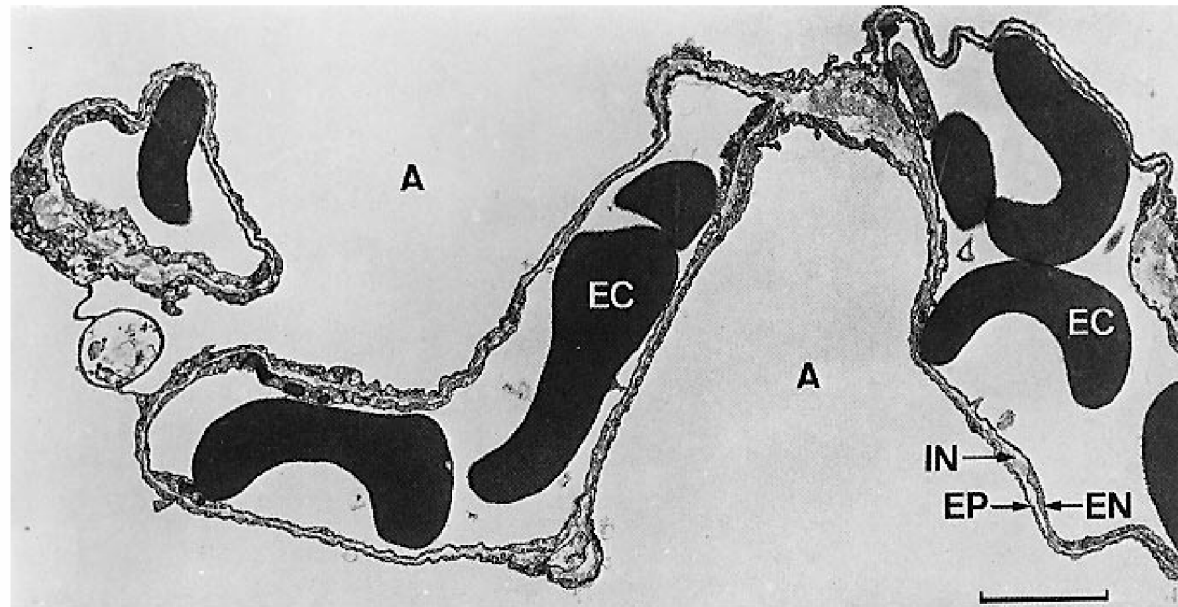
Reinigung

Nase, Becherzellen, Flimmerepithel, Hustenreflex, chronische Bronchitis, Alveolarmakrophagen

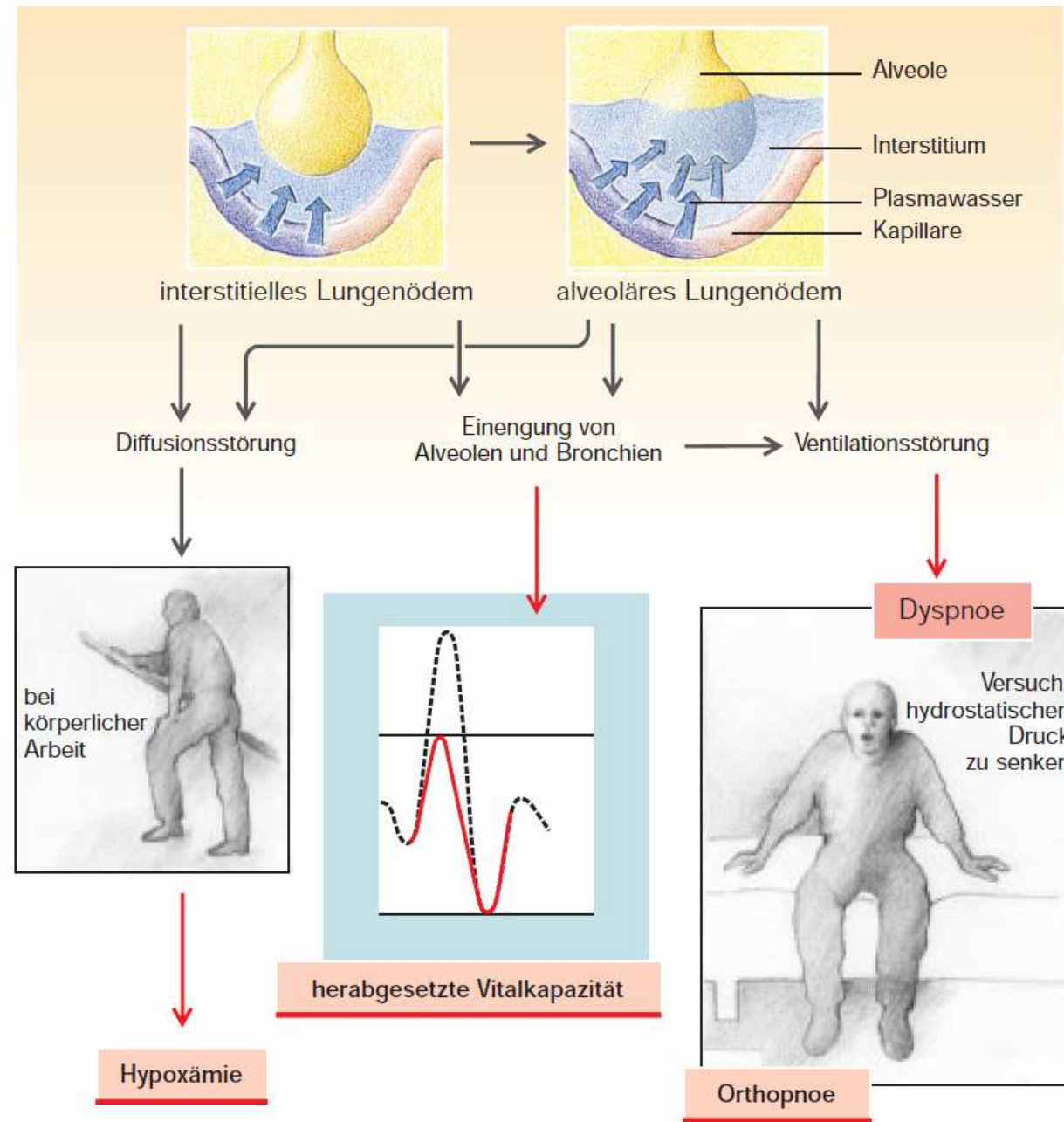


Alveolen Diffusionsbarriere

Alvelokapilläre Membran
< 1 μm
Kapillarendothel
Basalmembran
Alveolar Typ 1 Epithel

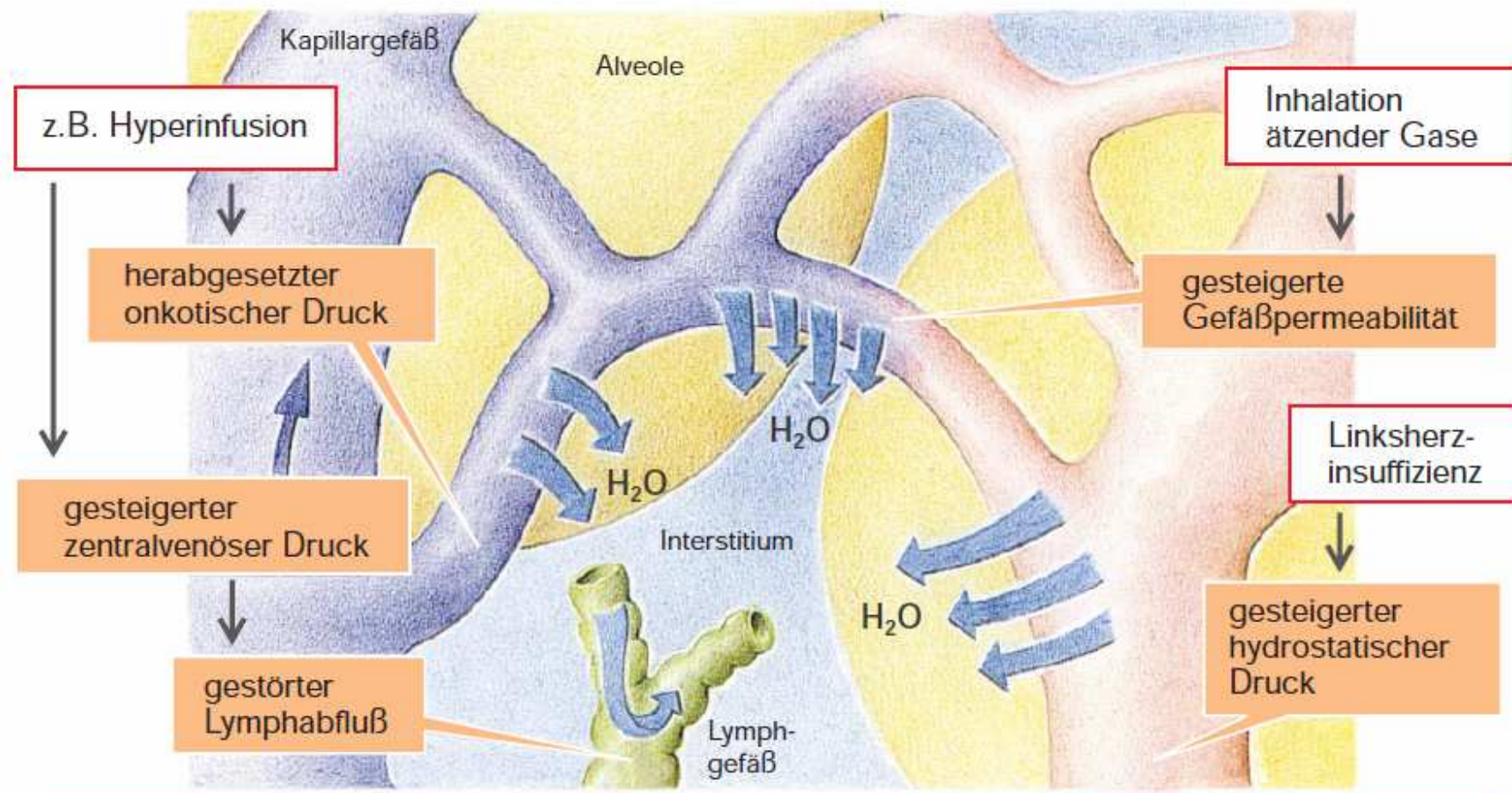


Lungenödem



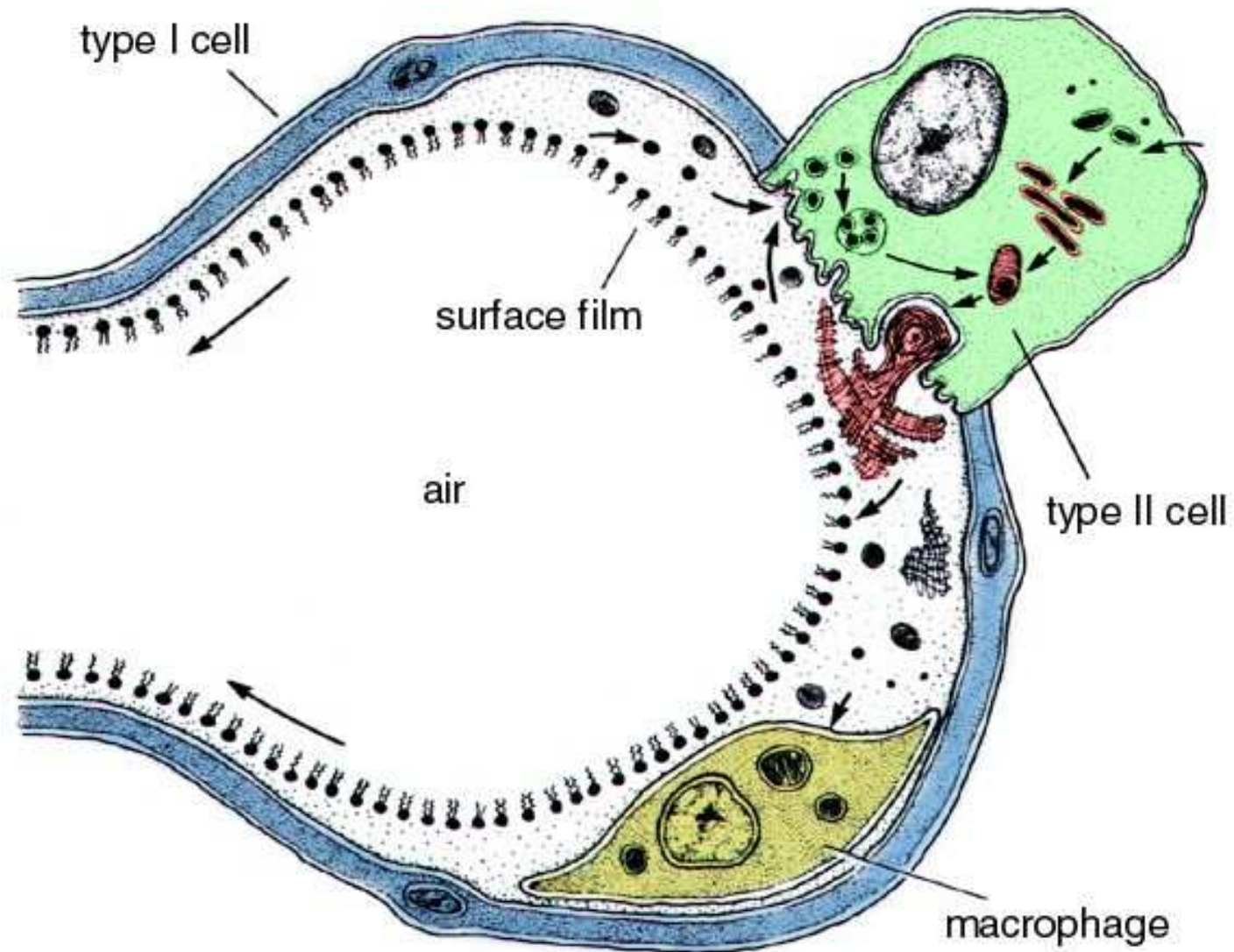
Quelle: Silbernagl, Lang. Taschenatlas Pathophysiologie. Thieme 2009

Lungenödem: Ursachen



Quelle: Silbernagl, Lang. Taschenatlas Pathophysiologie. Thieme 2009

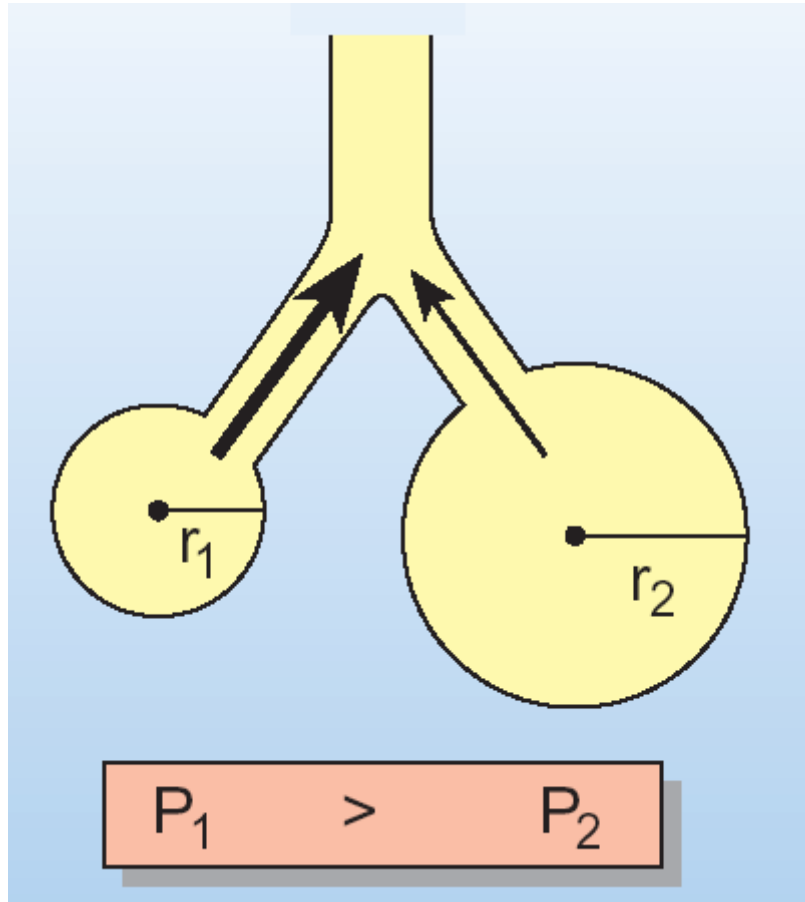
Oberflächenspannung, LaPlace, Surfactant



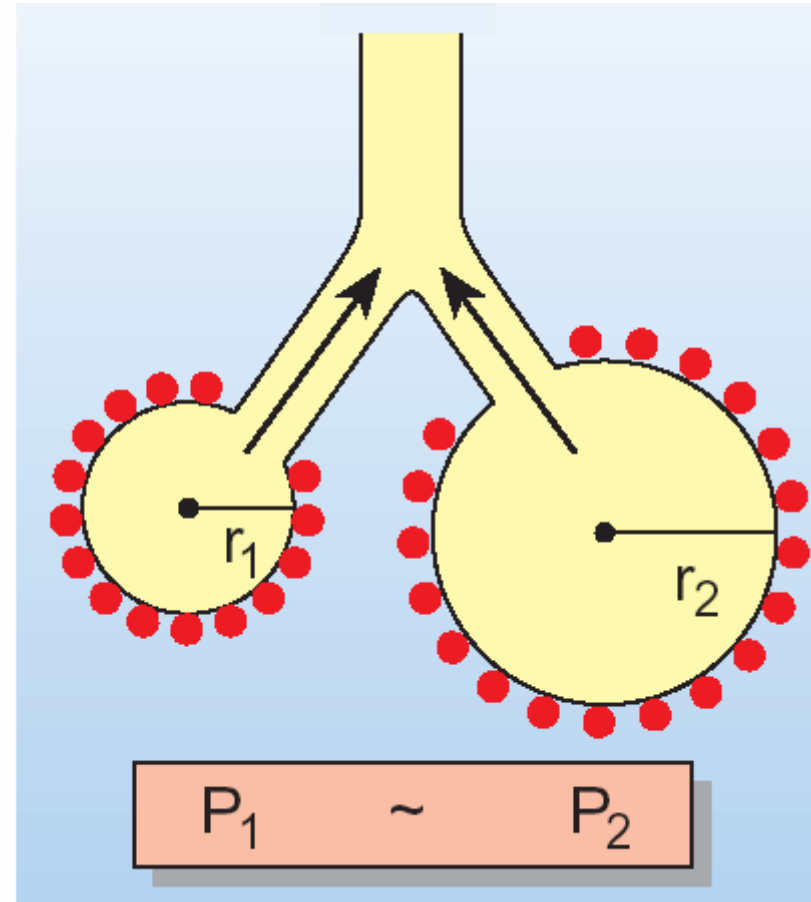
Quelle: <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/de/fachbeitrag/aktuell/die-lunge-das-immer-noch-unbekannte-organ/>

Herabsetzen der Oberflächenspannung

ohne Surfactant



mit Surfactant



Quelle: Deetjen, Speckmann. Physiologie. Urban&Fischer 1999

Atemmechanik

Anatomie Lunge und Atemmuskulatur

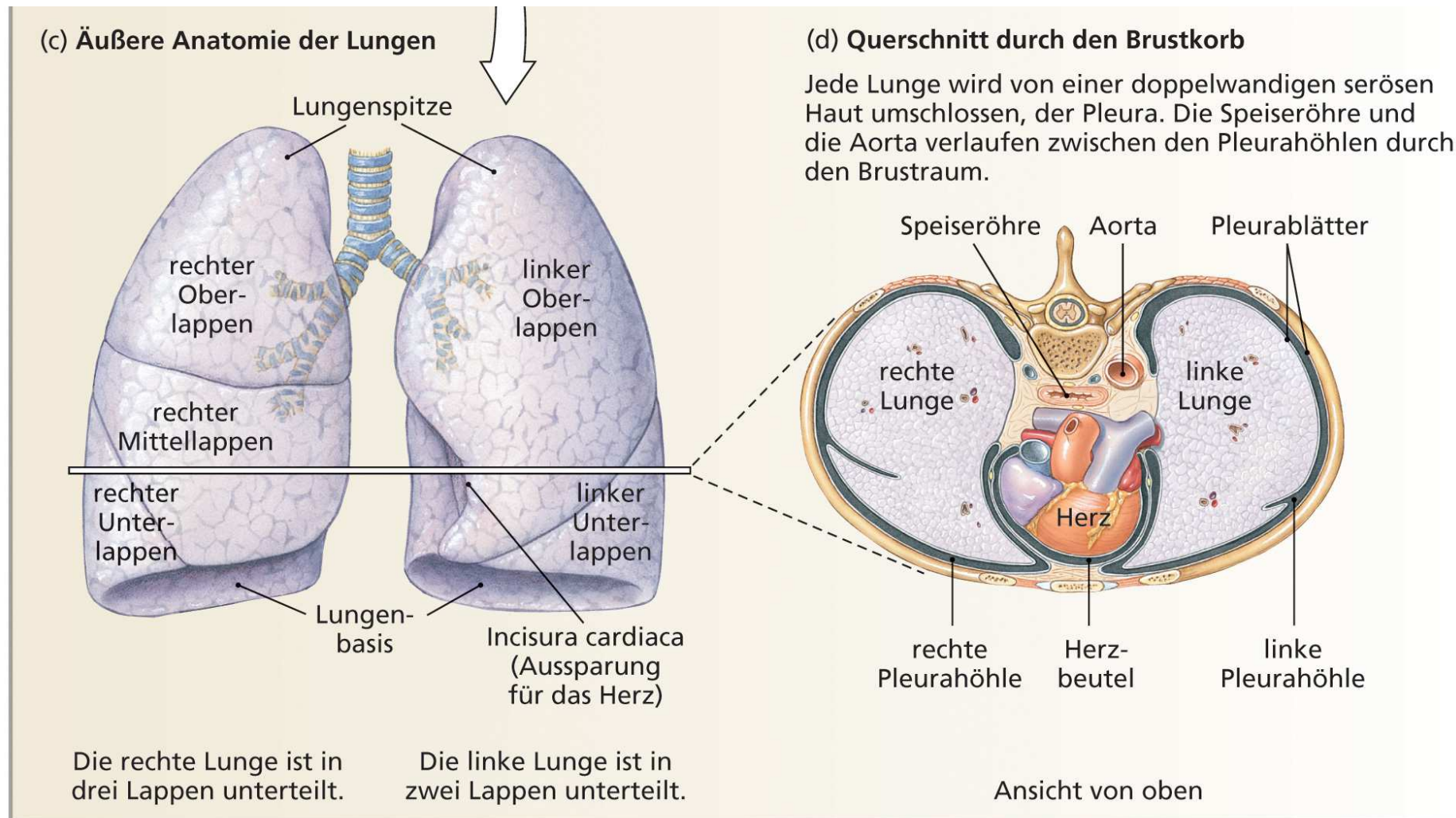
Ventilation und Spirometrie

Alveoläre Atemgasfraktionen

Elastische Atemwiderstände

Visköse Atemwiderstände

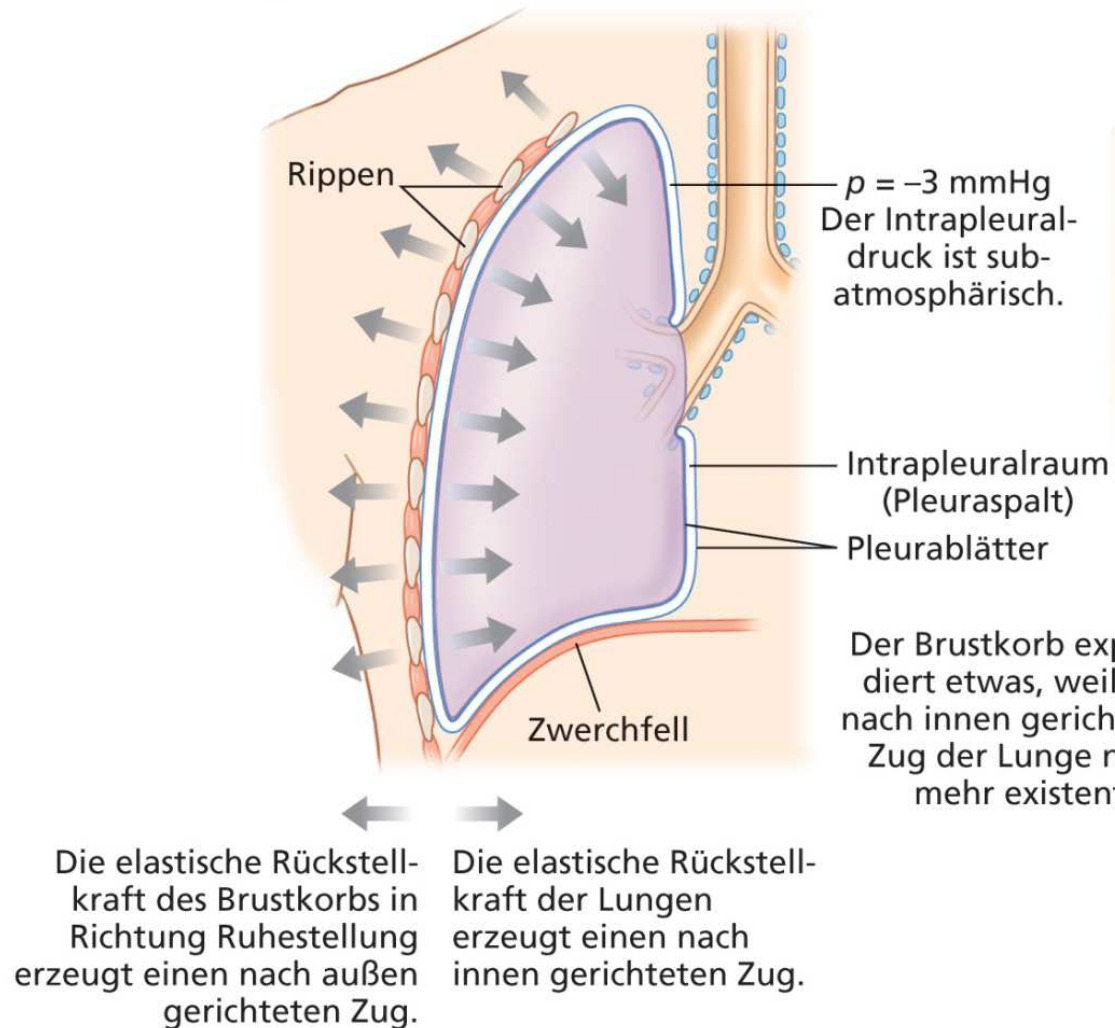
Der flüssigkeitsgefüllte Pleuraspalt koppelt Brustwand und Lunge mechanisch



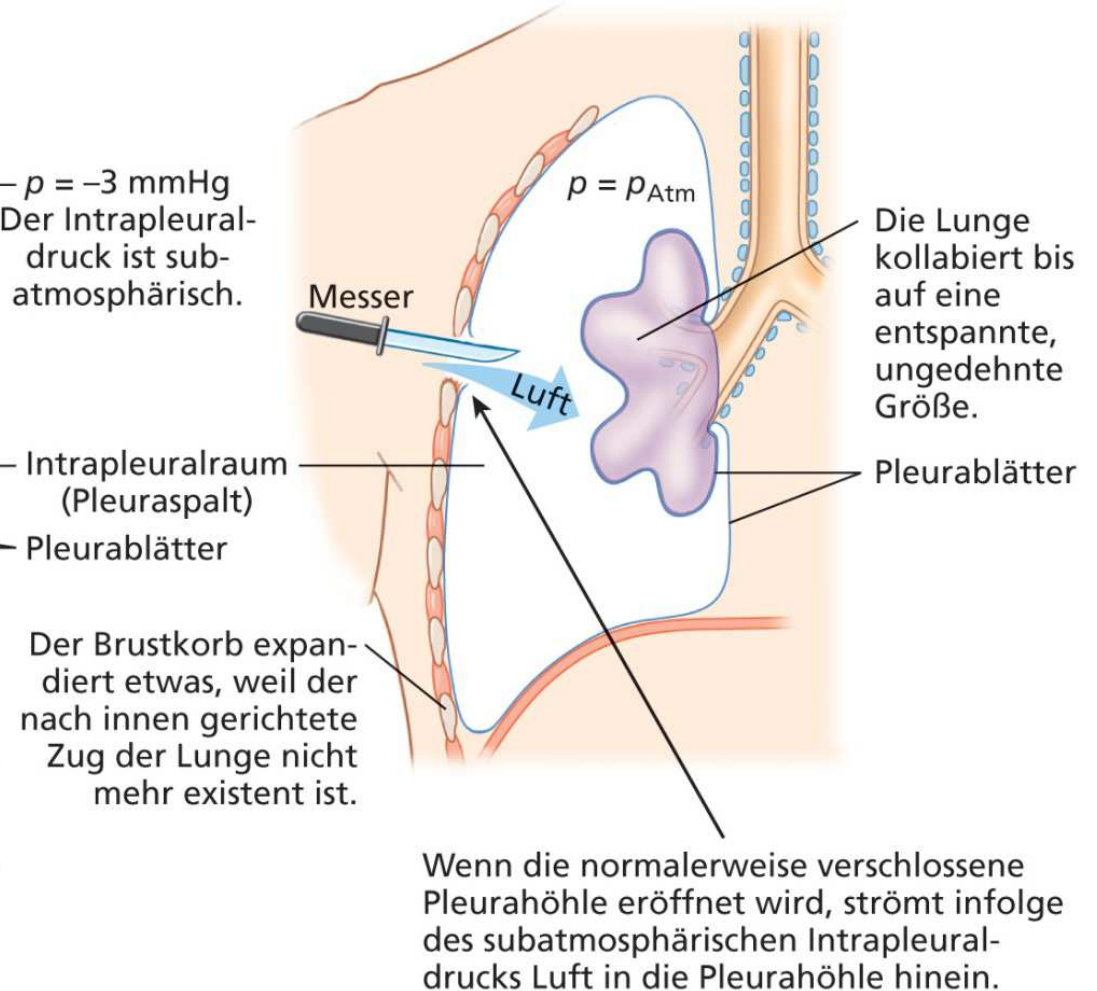
Quelle: Silverthorn. Physiologie. Pearson Studium 2009

Inspiration: Passive Dehnung der Lunge durch aktive Erweiterung des Brustkorbs

(a) Normale Lunge in Ruhe

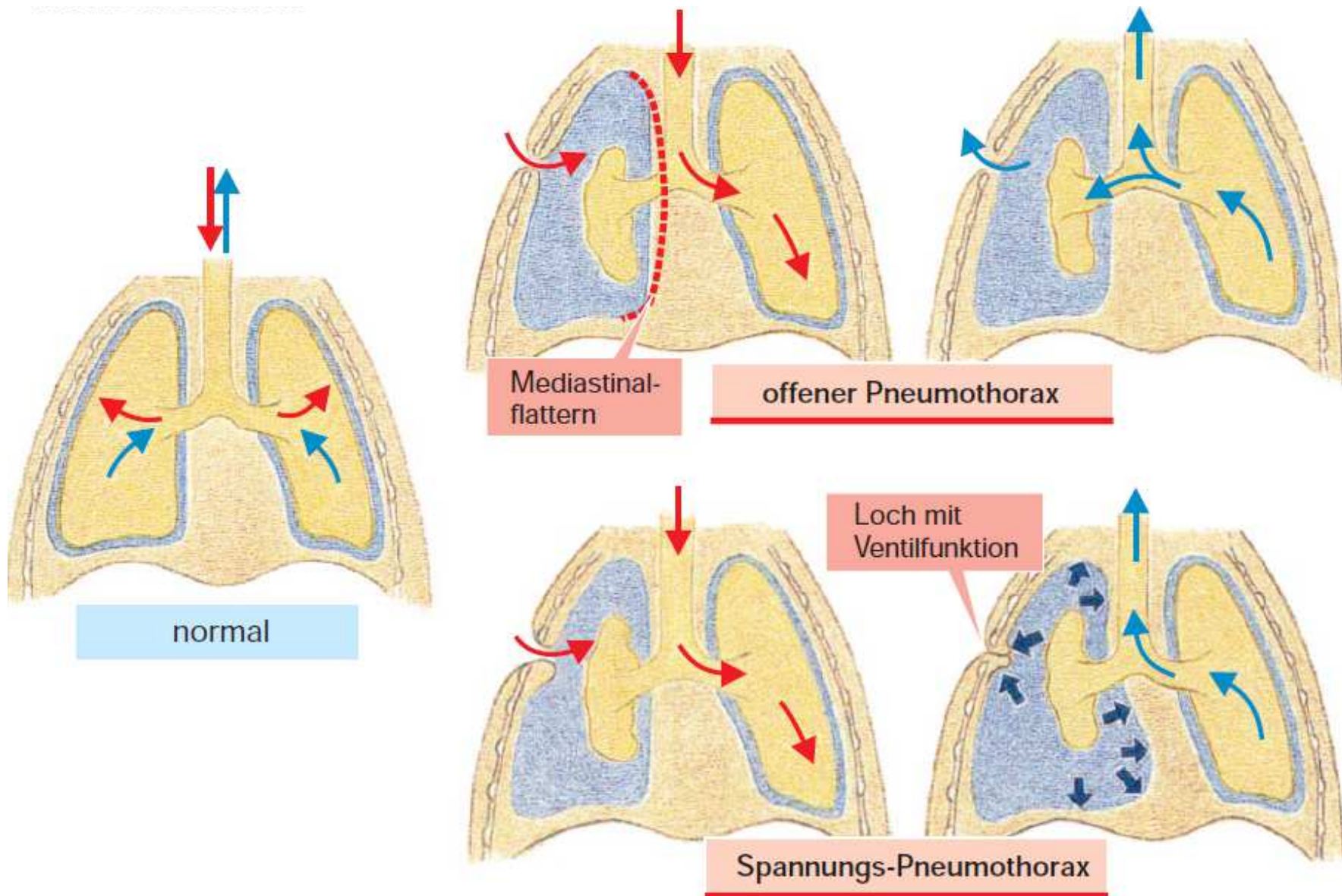


(b) Pneumothorax



Quelle: Silverthorn. Physiologie. Pearson Studium 2009

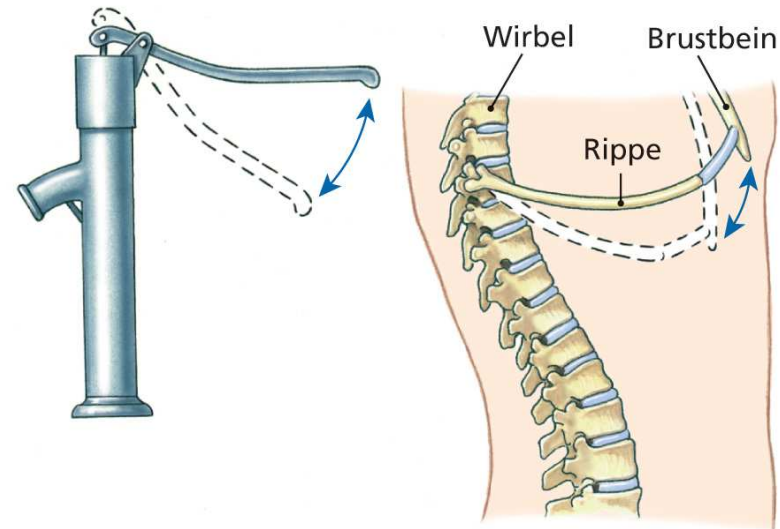
Pneumothorax



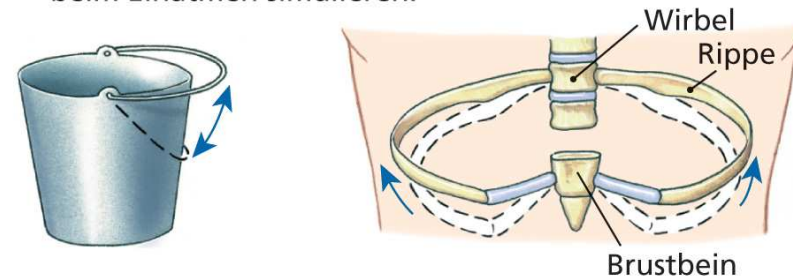
Quelle: Silbernagl, Lang. Taschenatlas Pathophysiologie. Thieme 2009

Brustkorberweiterung durch Heben der Rippen

(a) Das Anheben des Pumpengriffs kann als Modell für die Hebung des Brustkorbs nach oben und vorn beim Einatmen dienen.



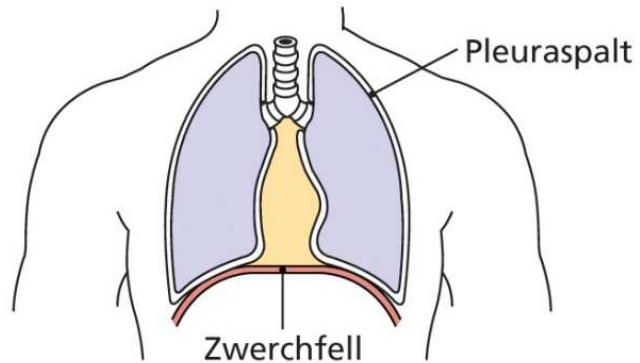
(b) Von der Seite betrachtet kann das Anheben des Griffs eines Eimers die laterale Erweiterung des Brustkorbs beim Einatmen simulieren.



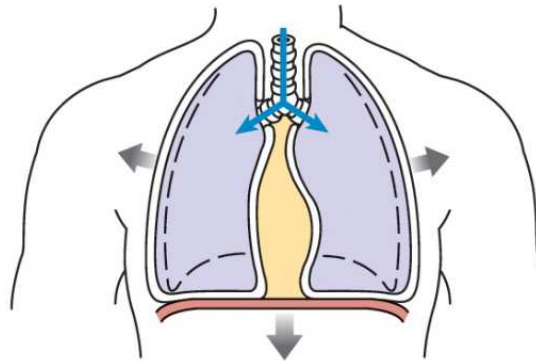
Quelle: Silverthorn. Physiologie. Pearson Studium 2009

Inspiration durch Senken des Zwerchfells

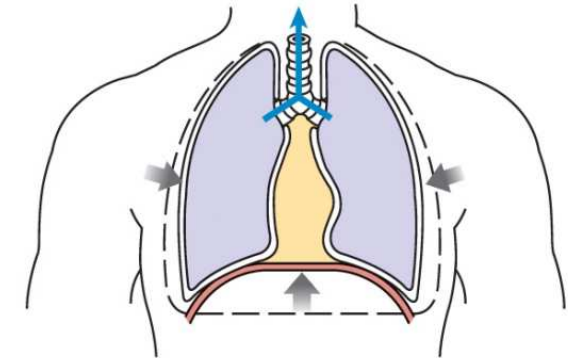
(a) In Ruhe nach einer normalen Expiration ist das Zwerchfell entspannt.



(b) Bei der Inspiration kontrahiert das Zwerchfell, wodurch das Volumen des Brustraums steigt.

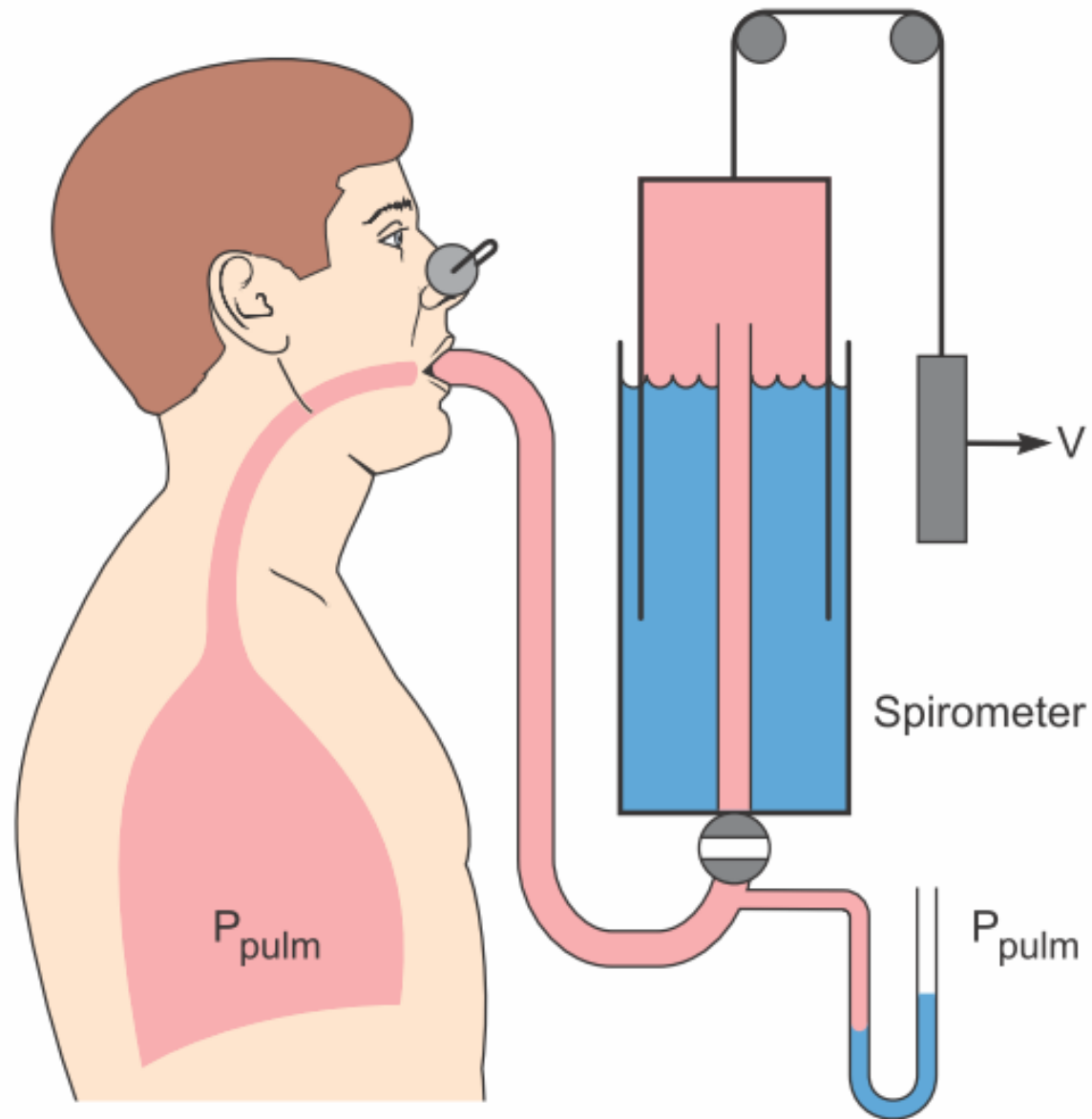


(c) Bei der Expiration relaxiert das Zwerchfell und das Brustraumvolumen sinkt.



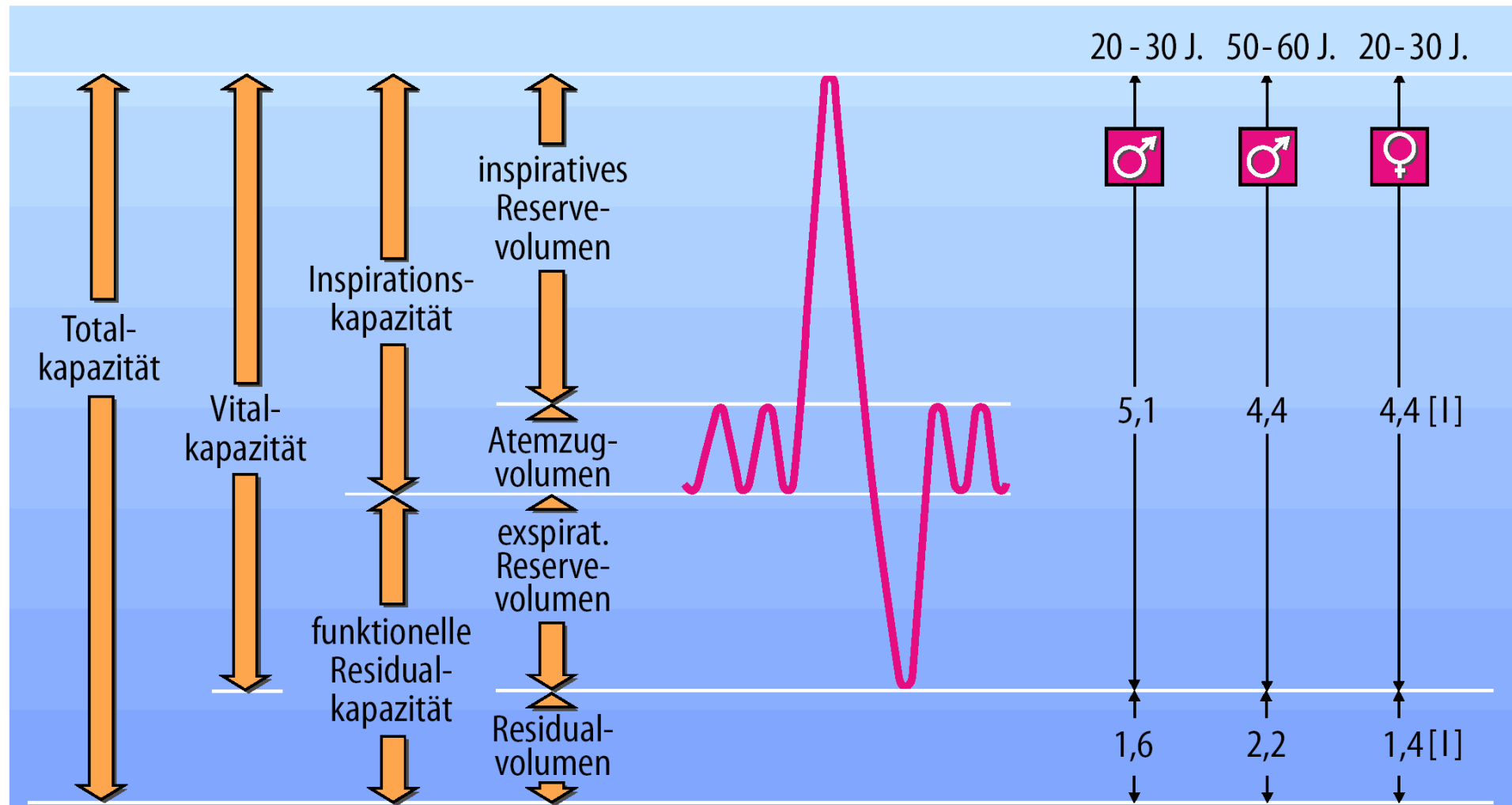
Quelle: Silverthorn. Physiologie. Pearson Studium 2009

Spirometrie



Quelle: Deetjen, Speckmann. Physiologie. Urban&Fischer 1999

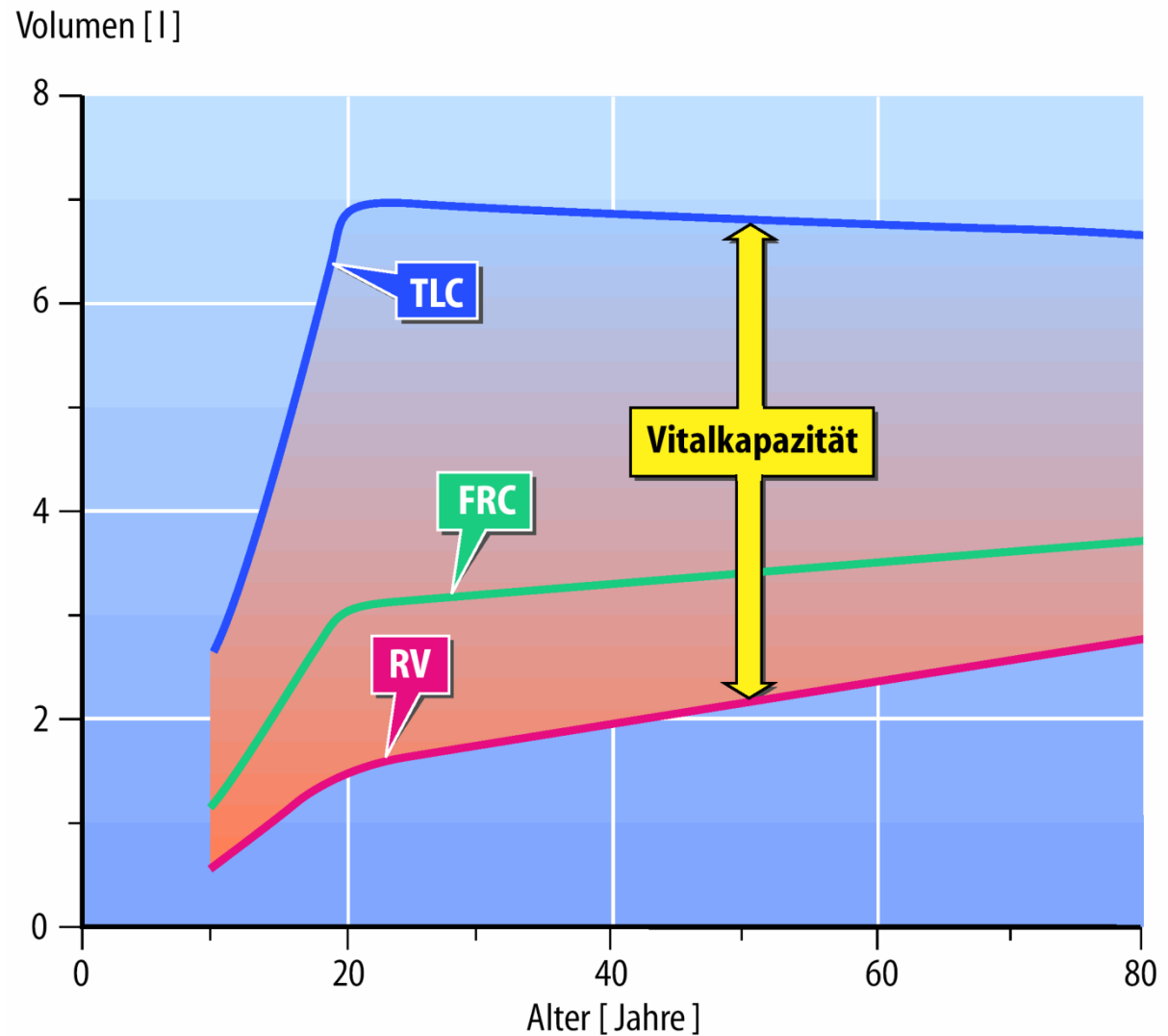
Ventilation: Volumina und Kapazitäten



Quelle: Schmidt, Lang, Heckmann. Physiologie des Menschen. Springer 2007

22

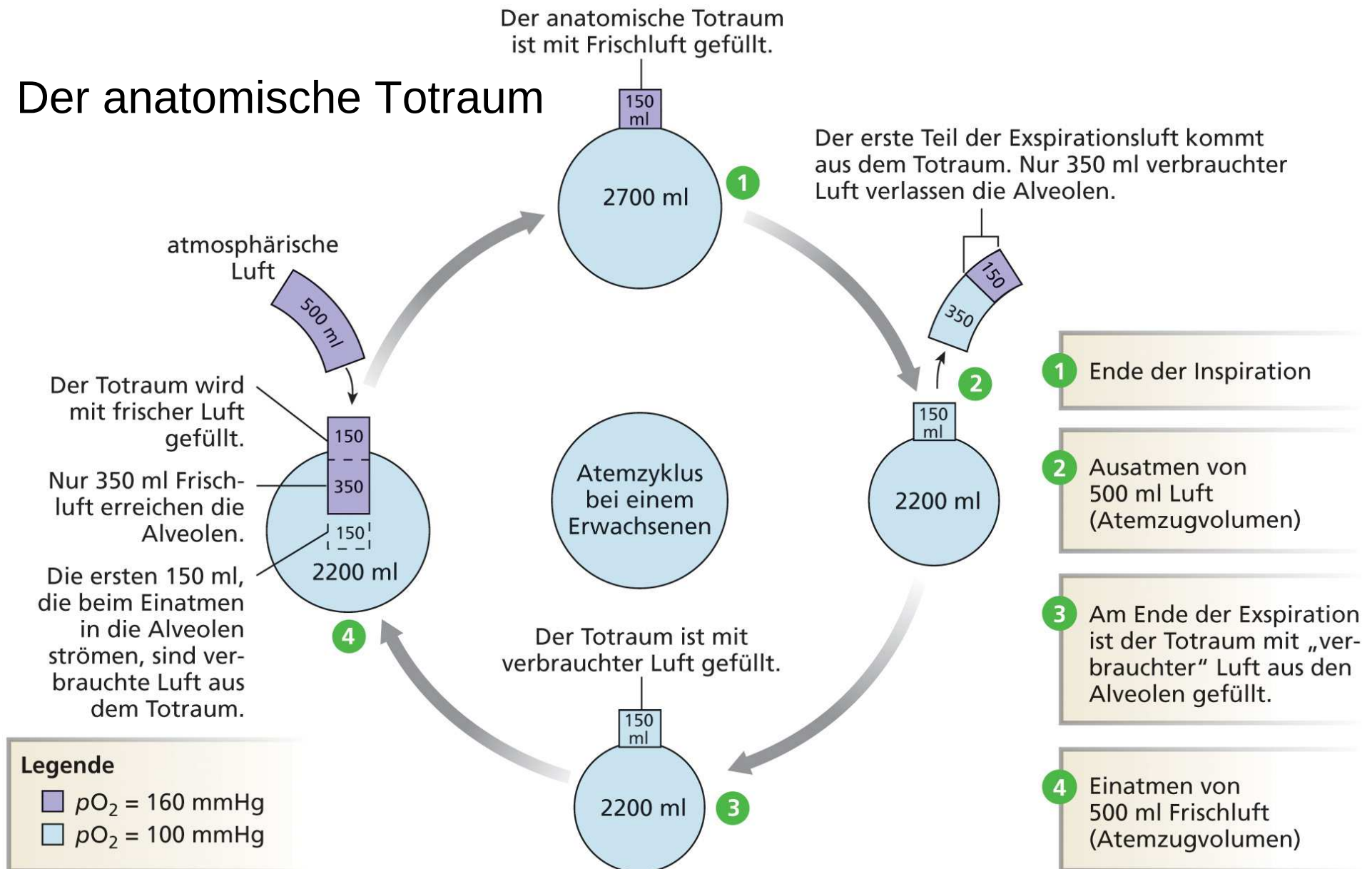
Vitalkapazität, Residualvolumen und funktionelle Residualkapazität und Alter



Quelle: Schmidt, Lang, Heckmann. Physiologie des Menschen. Springer 2007

23

Der anatomische Totraum



Quelle: Silverthorn. Physiologie. Pearson Studium 2009

Atemmechanik

Anatomie Lunge und Atemmuskulatur

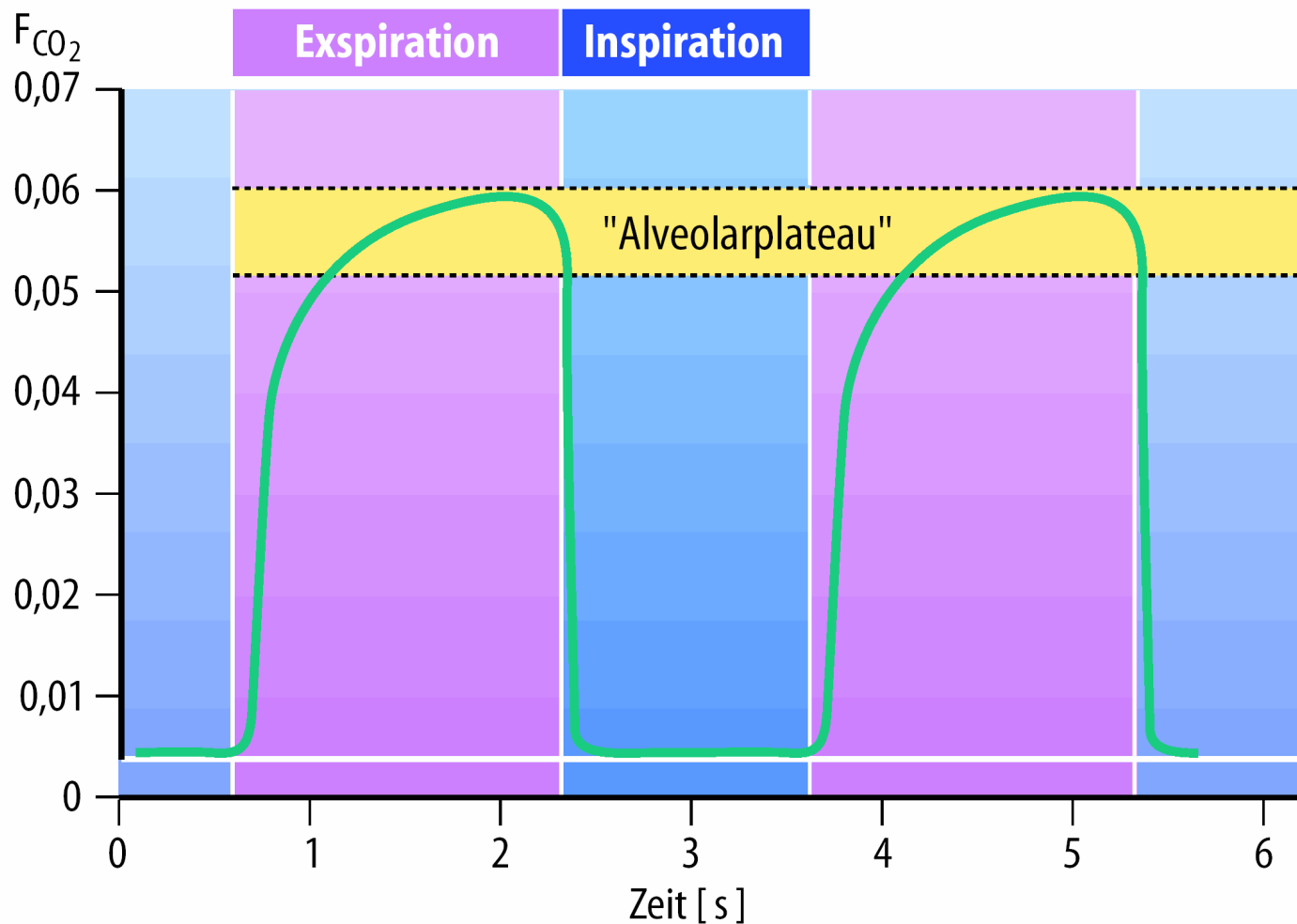
Ventilation und Spirometrie

Alveoläre Atemgasfraktionen

Elastische Atemwiderstände

Visköse Atemwiderstände

CO₂-Fraktion (während der Expiration und der Inspiration am Mund des Probanden mittels eines Infrarotabsorptionsschreibers registriert)



Quelle: Schmidt, Lang, Heckmann. Physiologie des Menschen. Springer 2007

Alveoläre Atemgasfraktionen

O₂-Aufnahme
in das Blut

$$\dot{V}_{O_2} = F_{I_{O_2}} \cdot \dot{V}_A - F_{A_{O_2}} \cdot \dot{V}_A$$

inspiratorisch
zugefügte
O₂-Menge

expiratorisch
abgegebene
O₂-Menge

$$\dot{V}_{CO_2} = F_{A_{CO_2}} \cdot \dot{V}_A$$

CO₂-Abgabe

F = „fraktionelle
Konzentration“

$\dot{V}_A$ = alveoläre
Ventilation

$$F_{I_{N_2}} = 0,791$$

$$F_{I_{O_2}} = 0,209$$

$$F_{I_{CO_2}} = 0$$

$$F_{A_{O_2}} = F_{I_{O_2}} - \frac{\dot{V}_{O_2}}{\dot{V}_A}$$

$$F_{A_{CO_2}} = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_A}$$

Ruheatmung

$$\dot{V}_{O_2}(\text{STPD}) = 0,28 \text{ l / min (0,25 - 0,30 l / min)}$$

$$\dot{V}_{CO_2}(\text{STPD}) = 0,23 \text{ l / min (0,20 - 0,25 l / min)}$$

$$\dot{V}_A(\text{BTPS}) = 5 \text{ l / min} \quad \dot{V}_A(\text{STPD}) = 4,1 \text{ l / min}$$

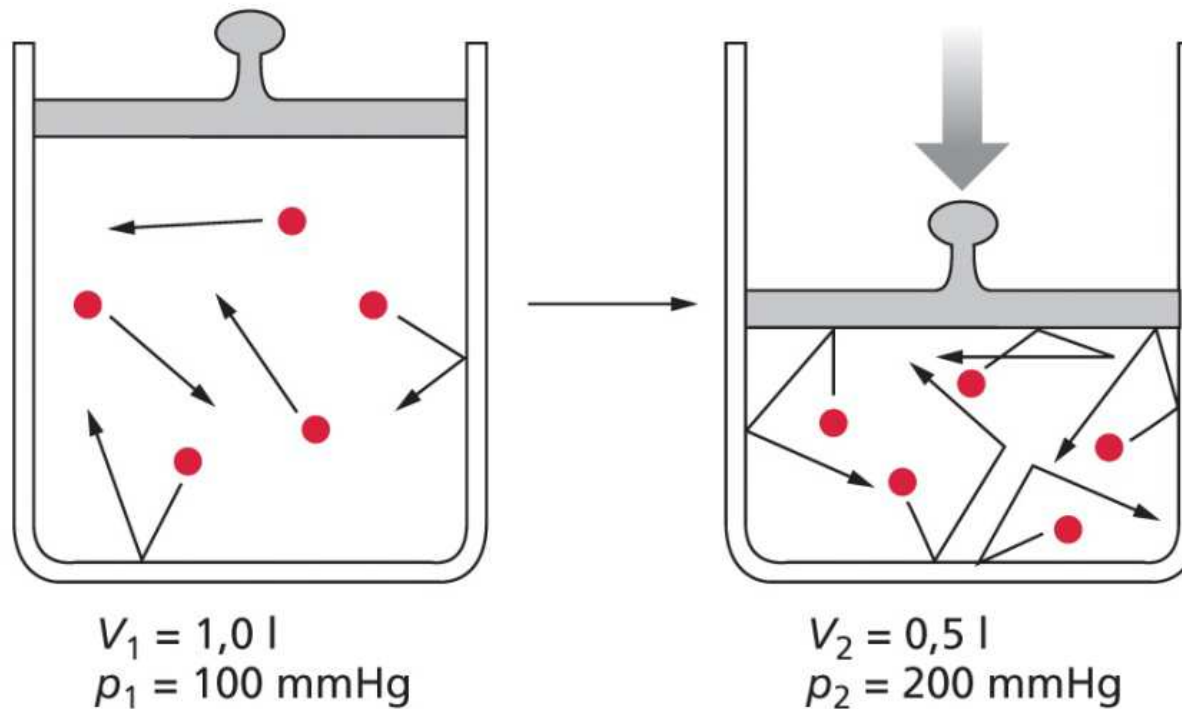
$$F_{AO_2} = 0,14 \text{ (14 Vol \%)}$$

$$F_{ACO_2} = 0,056 \text{ (5,6 Vol \%)}$$

Das Boyle'sche Gesetz

Boyle'sches Gesetz: $p_1 V_1 = p_2 V_2$

Eine Abnahme des Volumens führt zu einer größeren Anzahl von Kollisionen und somit zu einem höheren Druck.



Quelle: Silverthorn. Physiologie. Pearson Studium 2009

Volumenmessbedingungen

$$\dot{V}_{O_2}(\text{STPD}) = 0,28 \text{ l / min}$$

$$\dot{V}_A(\text{BTPS}) = 5 \text{ l / min}$$

STPD = Standard Temperature (273 K) Pressure (760 mm Hg), Dry

BTPS = Body Temperature (310 K) Pressure (760 mm Hg), H₂O-Saturated

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1 \cdot P_2}{T_2 \cdot P_1}$$

$$\frac{V_{\text{STPD}}}{V_{\text{BTPS}}} = \frac{273_{\text{K}} \cdot P_{\text{B}} - 47_{\text{mm Hg}}}{310_{\text{K}} \cdot 760_{\text{mm Hg}}} = \frac{P_{\text{B}} - 47}{863}$$

Wasser-
dampfdruck

Gaspartialdrücke im alveolären Gasgemisch

$$P_{\text{Gas}} = F_{\text{Gas}} \cdot (P_{\text{B}} - P_{\text{H}_2\text{O}})$$

$$P_{\text{AO}_2} = 0,14 \cdot (760 - 47) \text{ mm Hg}$$

$$P_{\text{ACO}_2} = 0,056 \cdot (760 - 47) \text{ mm Hg}$$

$$P_{\text{AO}_2} = 100 \text{ mm Hg}$$

$$P_{\text{ACO}_2} = 40 \text{ mm Hg}$$

Atemmechanik

Anatomie Lunge und Atemmuskulatur

Ventilation und Spirometrie

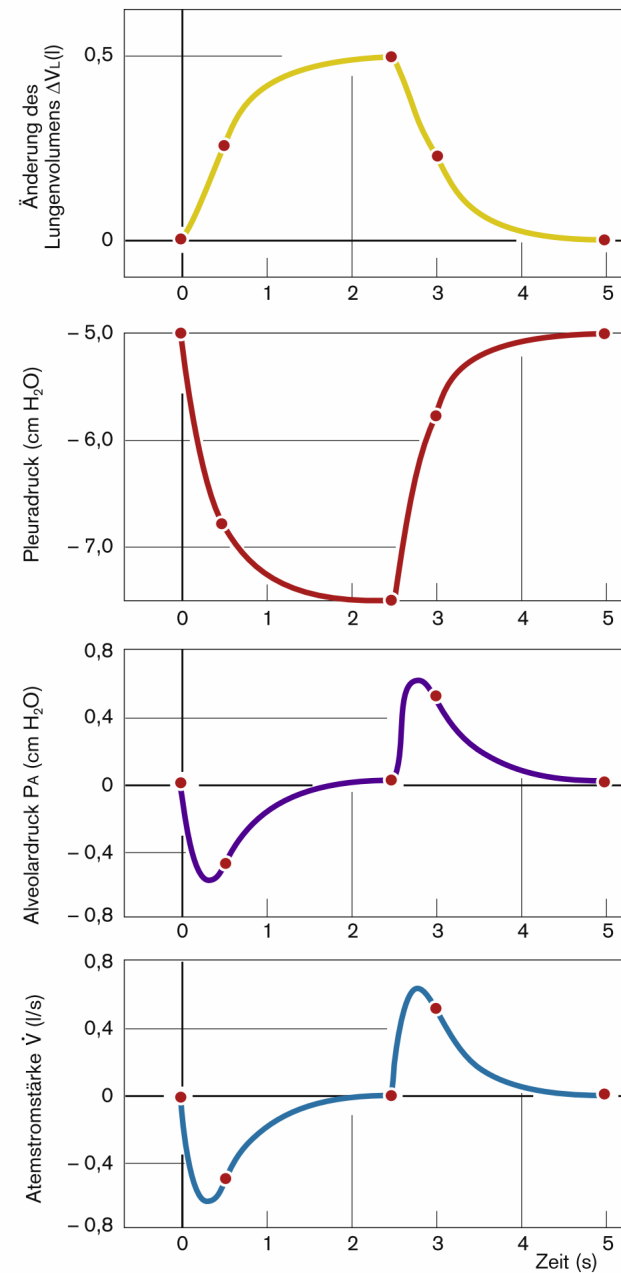
Alveoläre Atemgasfraktionen

Elastische Atemwiderstände

Visköse Atemwiderstände

Die Ventilation überwindet elastische und visköse Atemwiderstände

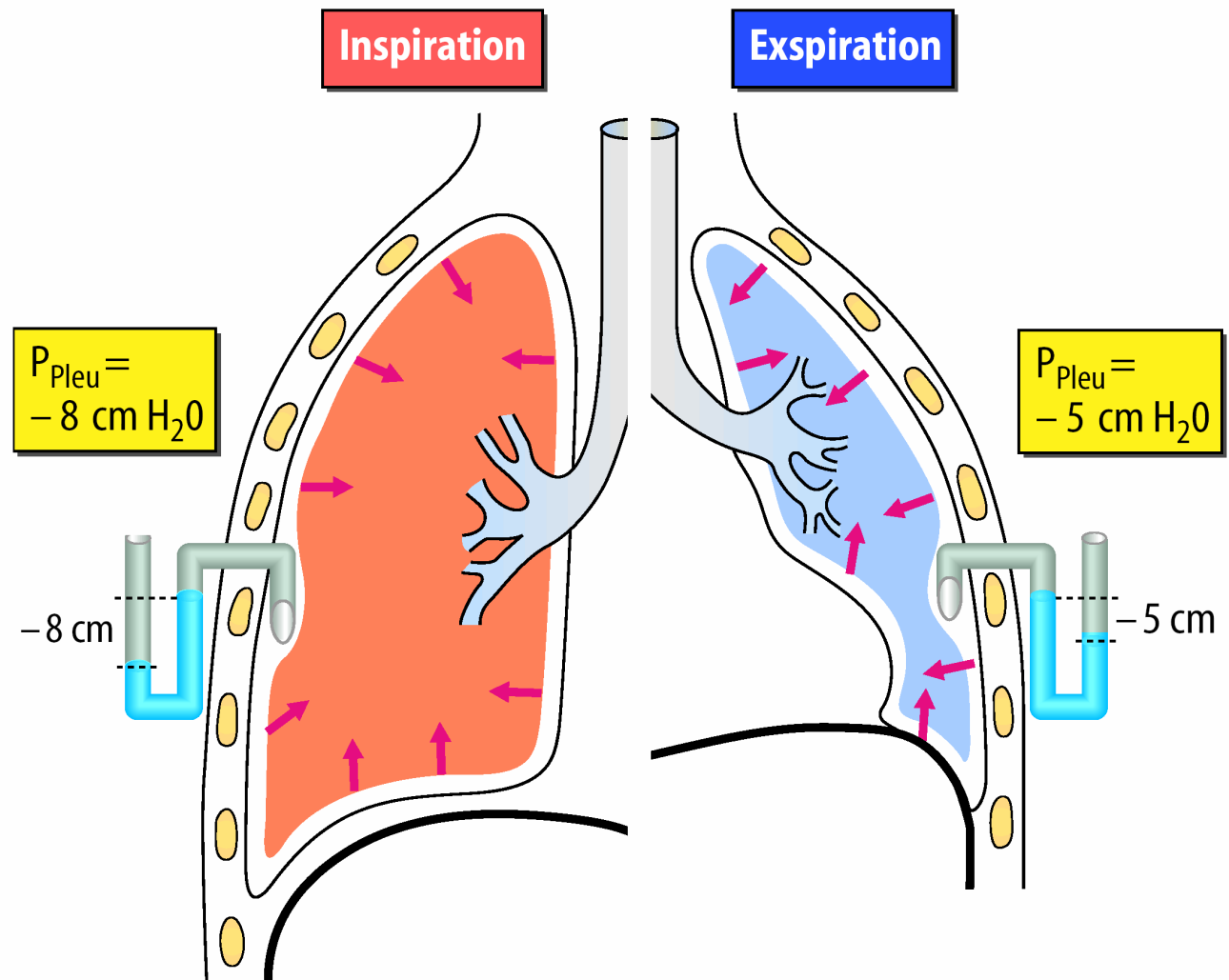
Änderung des
Lungenvolumen, des
Pleuradrucks,
des Alveolardrucks und der
Atemstromstärke während
Ruheatmung



Quelle: Pape, Klink, Silbernagl, et al. Physiologie. Thieme 2010

Elastische Atemwiderstände (Elastische Retraktion)

- Pleuraspalt,
- Intrapleuraler Druck,
- Ösophagusdruck,
- Intrapulmonaler Druck,

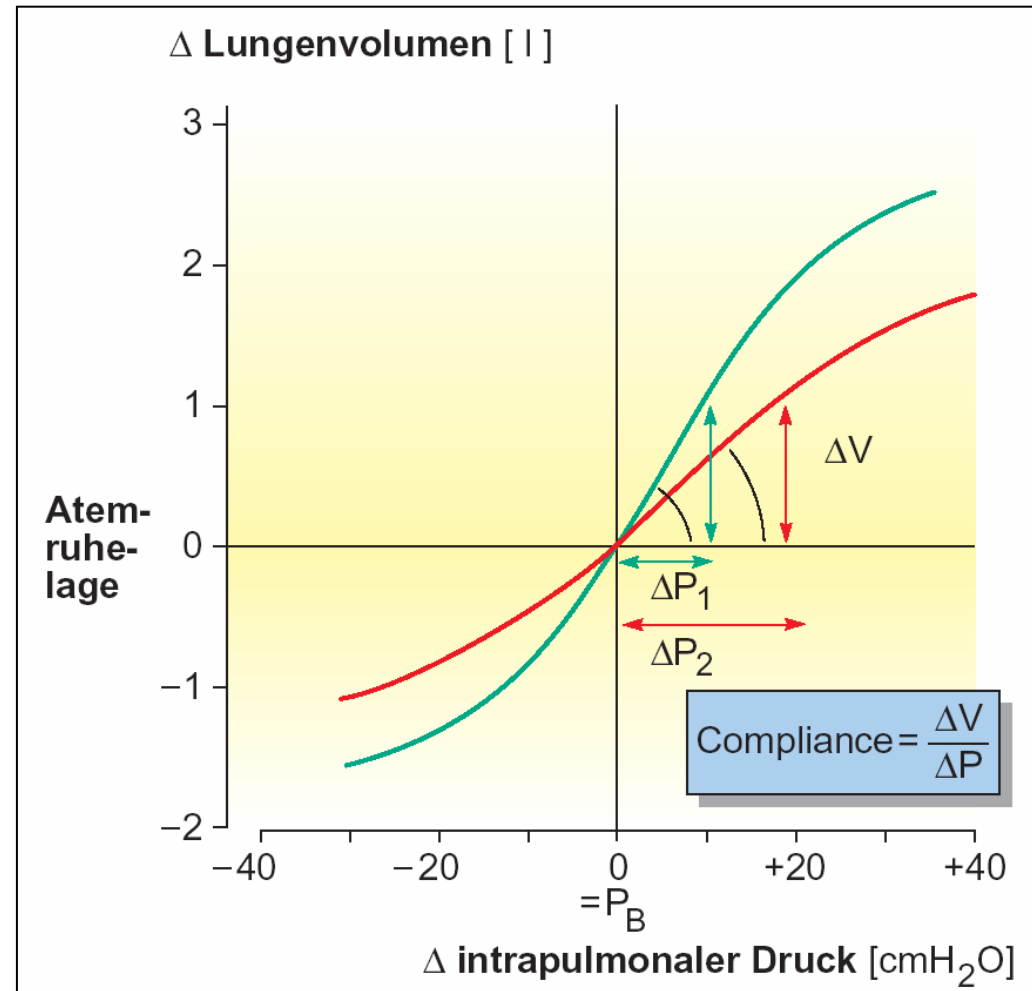


Quelle: Schmidt, Lang, Heckmann. Physiologie des Menschen. Springer 2007

Compliance von Lunge (L) und Thorax (Th)

Maß für die elastische Eigenschaften des Atmungsapparates

$$C_{Th+L} = \frac{\Delta V}{\Delta P_{Pul}}$$



Quelle: Deetjen, Speckmann. Physiologie. Urban&Fischer 1999

Compliance-Bestimmung

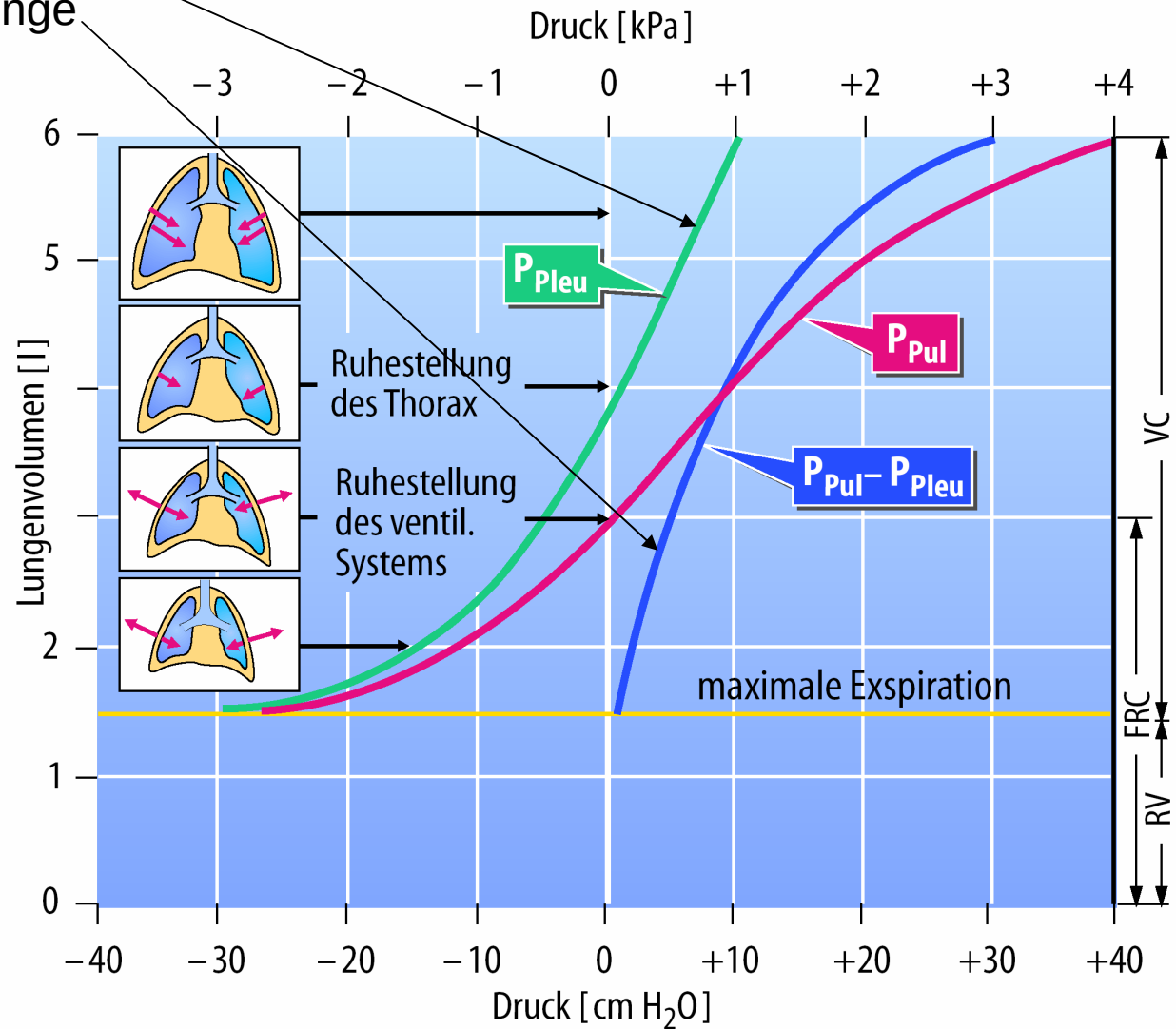
$$C_{Th} = \frac{\Delta V}{\Delta P_{Pleu}}$$

$$C_L = \frac{\Delta V}{\Delta(P_{Pul} - P_{Pleu})}$$

Atemmuskulatur
fixiert bestimmtes
Volumen
Glottis (Stimmritze)
geöffnet: $P_{Pul} = 0$

Messung der elastischen Atemwiderstände:

- Ruhedehnungskurve Thorax
- Ruhedehnungskurve Lunge



Quelle: Schmidt, Lang, Heckmann. Physiologie des Menschen. Springer 2007

Restriktive Lungenerkrankungen

Ausdehnungsfähigkeit eingeschränkt

- pulmonale Restriktion (Lungenfibrose, Atelektasen = kollabierten Lungenabschnitt, Karzinom, Pneumothorax)
- extrapulmonare Restriktion (Verwachsung Pleurablätter nach OP, Bestrahlung, chronische Entzündung, Skoliose = Wirbelsäule-Verformung, Myasthenia gravis = Muskelschwäche)
- Lungenfibrose: Infekte, inhalative Noxen: Tabakrauch, Silikat, Asbest, Pharmaka: Chemotherapeutika, Zytostatika, Systemerkrankungen, z.B. Kollagenosen
- Compliance verringert, auch VC und TLC

Atemmechanik

Anatomie Lunge und Atemmuskulatur

Ventilation und Spirometrie

Alveoläre Atemgasfraktionen

Elastische Atemwiderstände

Visköse Atemwiderstände

Visköse Atemwiderstände

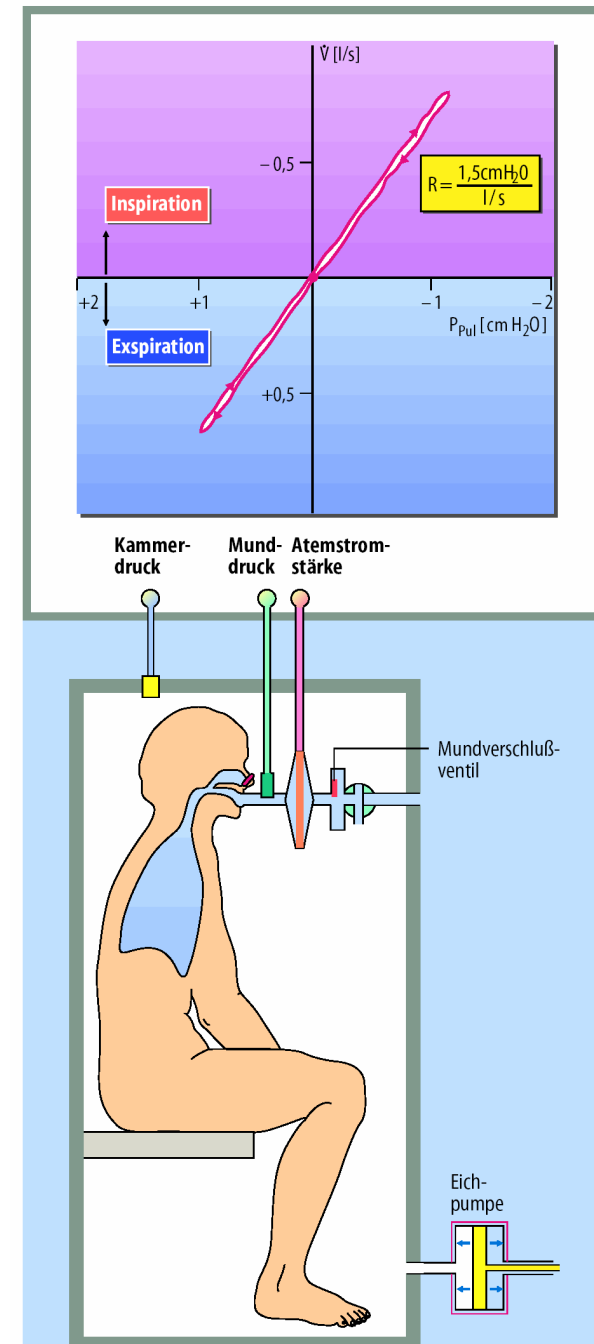
- 90% Strömungswiderstände
Hagen Poiseuille (Querschnitt,
Länge, Trachea, große
Bronchien)
- Ganzkörperplethysmograph

$$\dot{V} = \frac{\Delta P}{R} = \frac{P_{Pul}}{R}$$

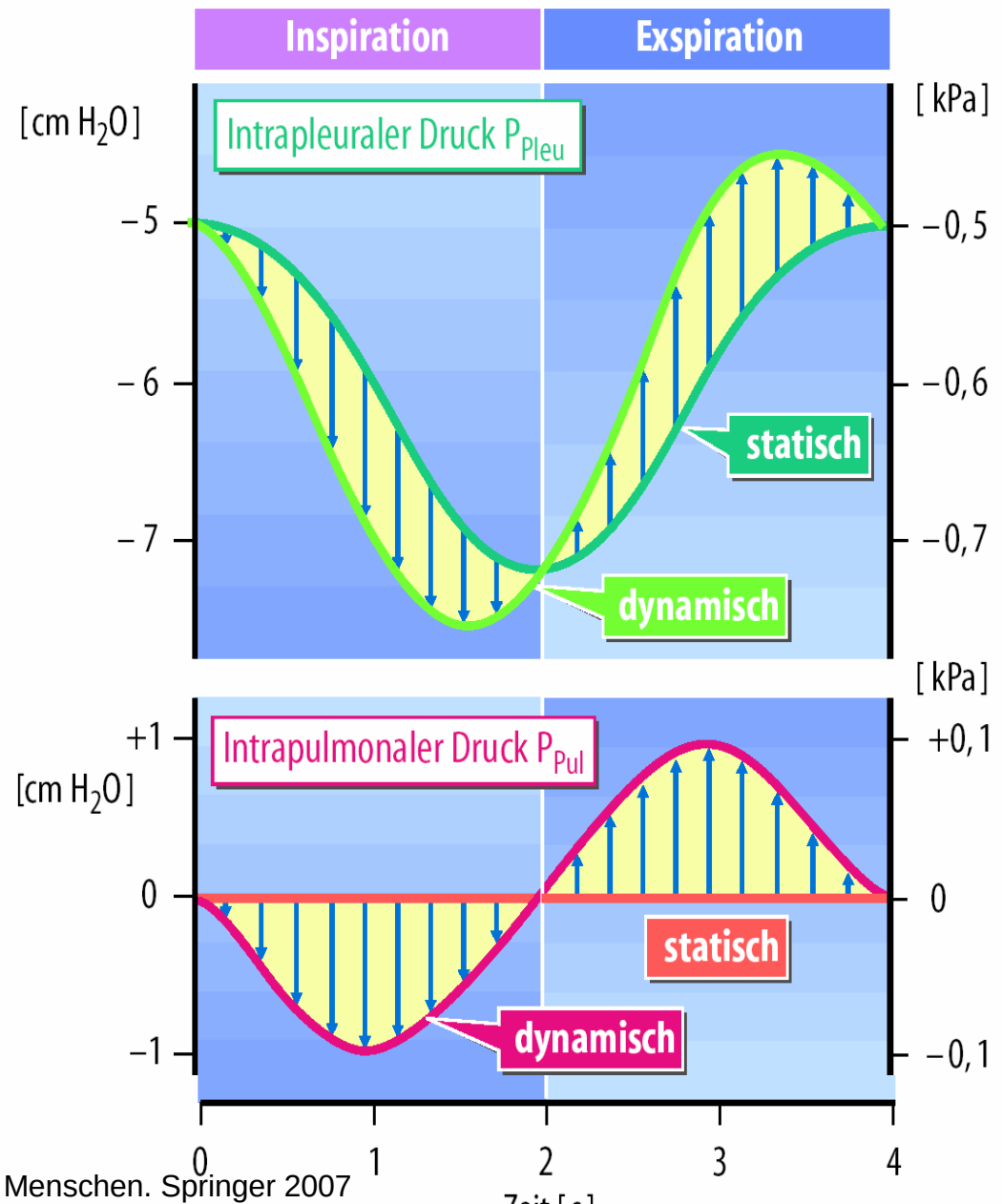
$\dot{V}$ Volumenstromstärke

R Atemwegswiderstand, Resistance

Quelle: Schmidt, Lang, Heckmann. Physiologie des Menschen. Springer 2007



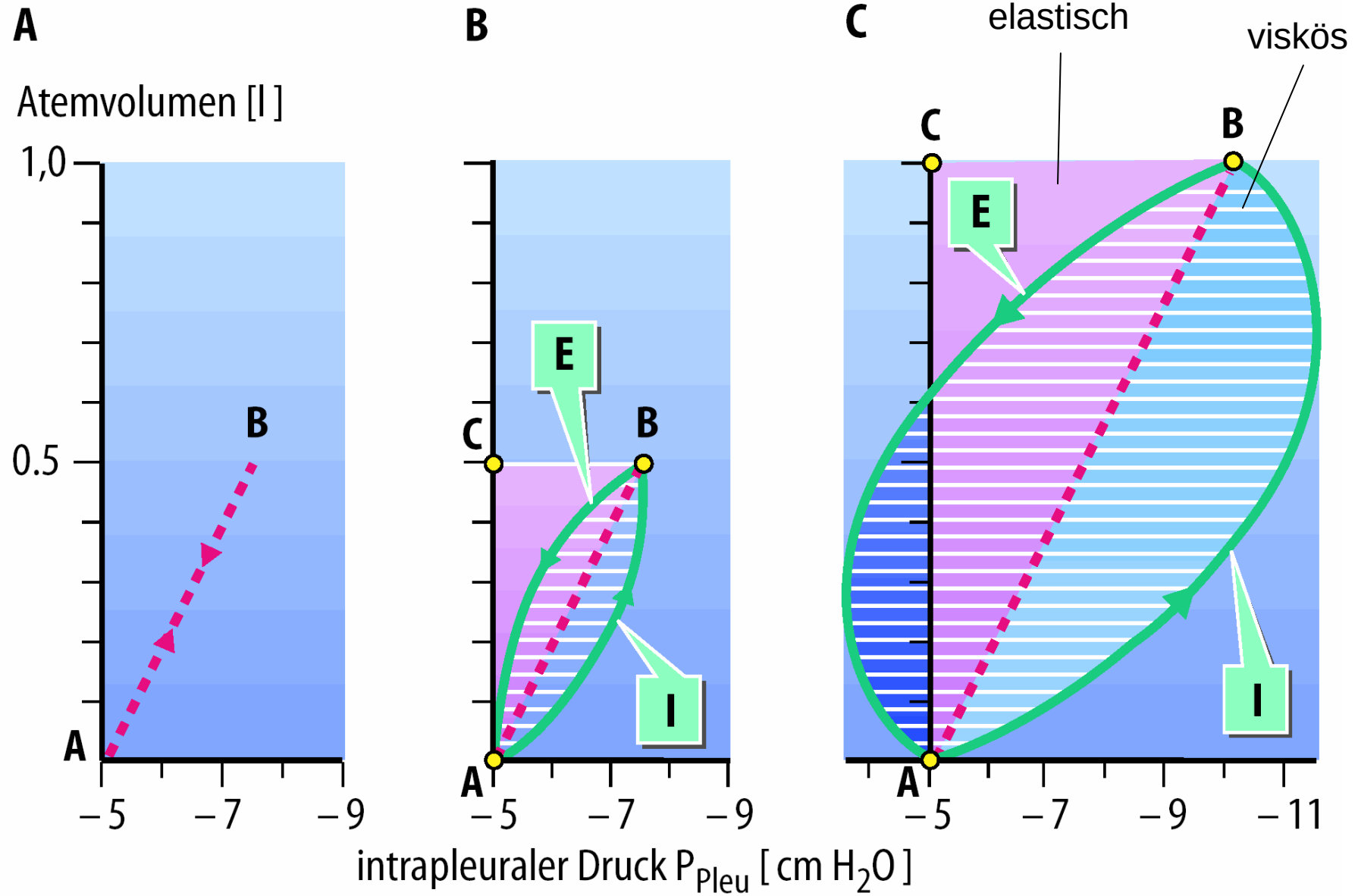
Druckverläufe während statischer und dynamischer Atmung



Quelle: Schmidt, Lang, Heckmann. Physiologie des Menschen. Springer 2007

Visköse Atemwiderstände

Atemzyklus im Druckvolumen-Diagramm



Quelle: Schmidt, Lang, Heckmann. Physiologie des Menschen. Springer 2007

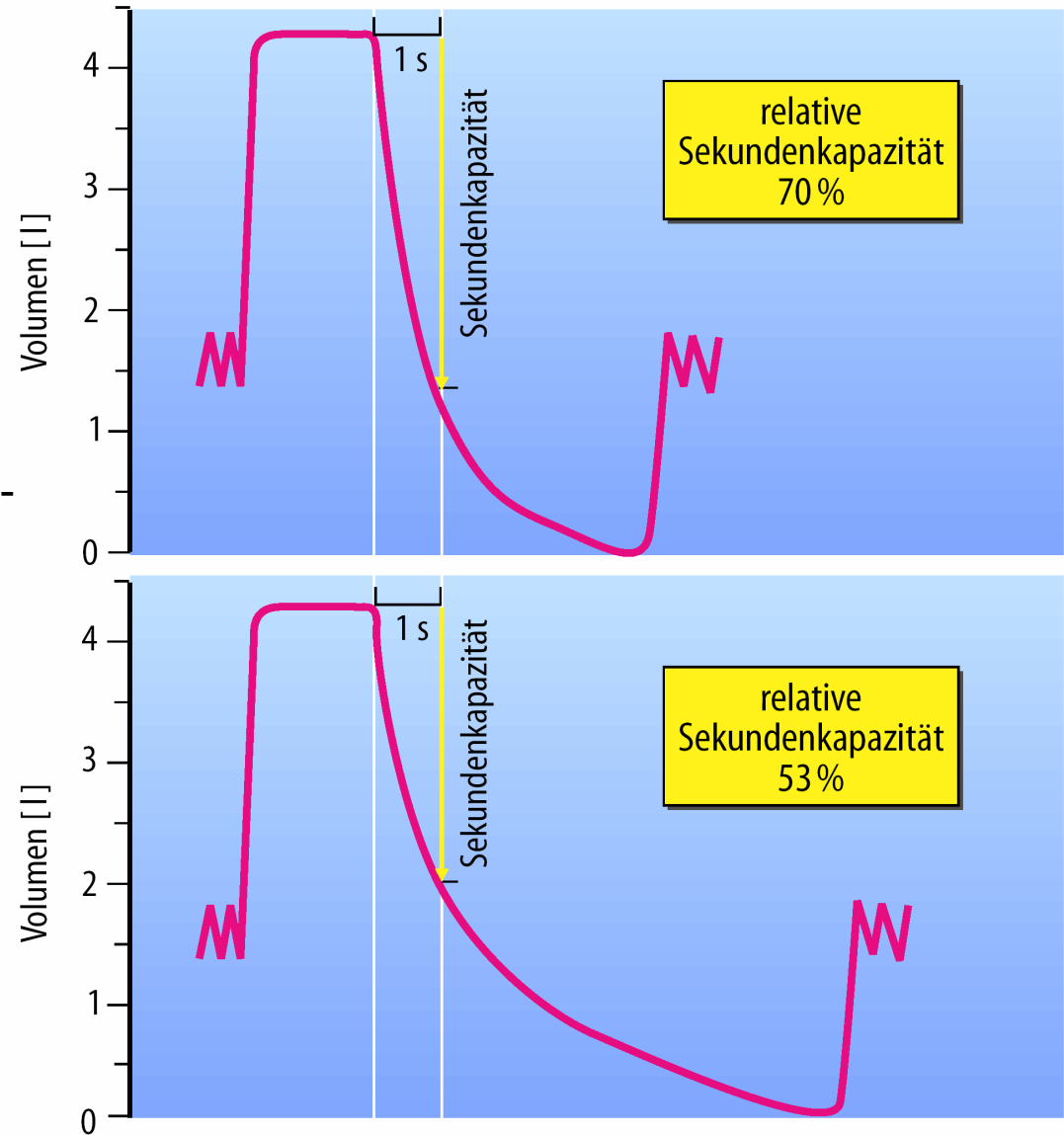
Visköse Atemwiderstände

Bestimmung des Atemwegwiderstandes

- Sekundenkapazität
(Tiffeneau-Test)

- Maximale Atem-
stromstärke
(Pneumotachographie)

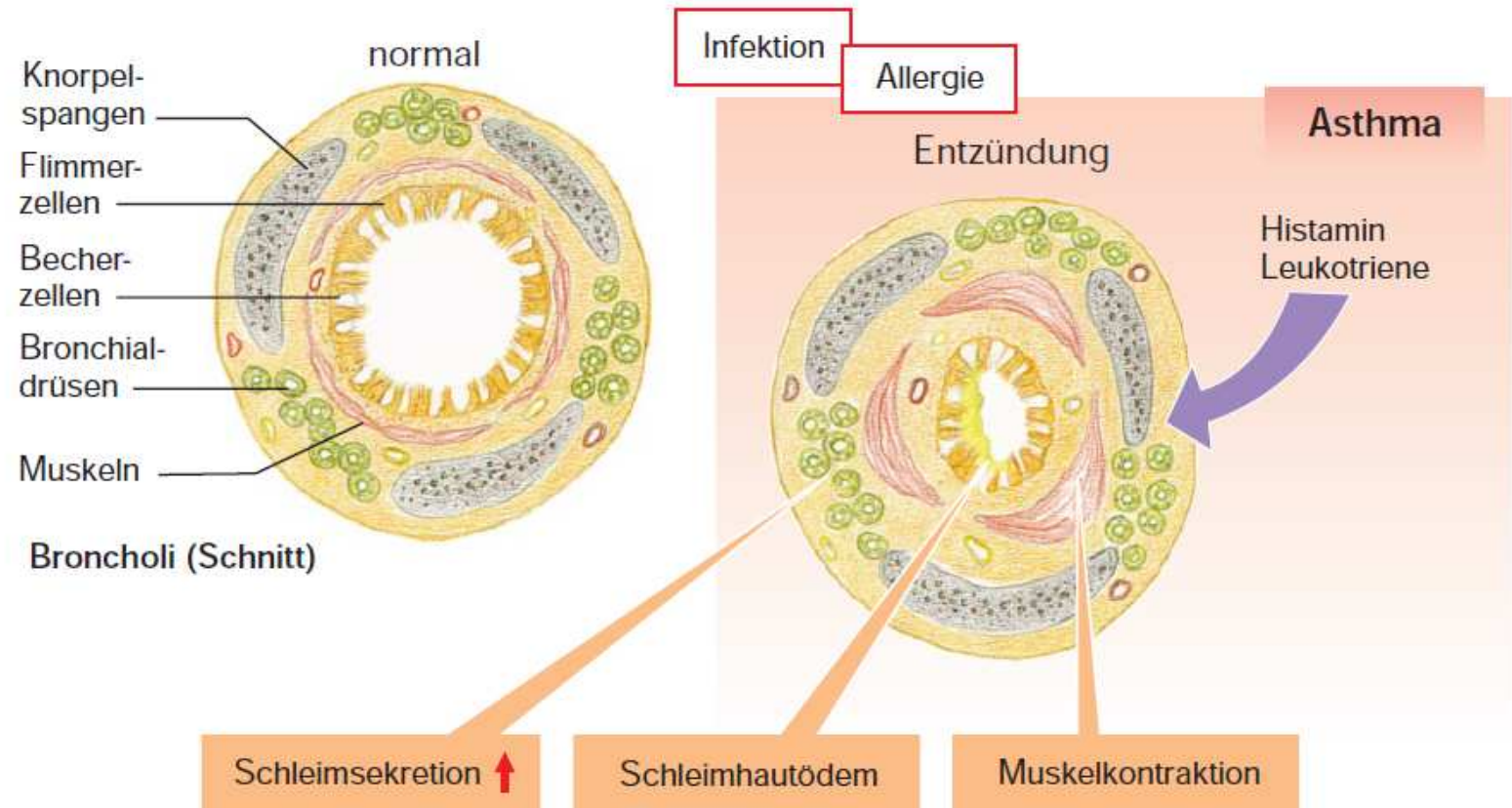
Bei OPD: sinkt die relative Sekundenkapazität



Quelle: Schmidt, Lang, Heckmann. Physiologie des Menschen. Springer 2007

Visköse Atemwiderstände

Obstruktive Lungenerkrankungen



Chronische Bronchitis
Asthma bronchiale, Mukoviszidose
COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease)
Lungenemphysem

Quelle: Silbernagl, Lang. Taschenatlas Pathophysiologie. Thieme 2009

44

Visköse Atemwiderstände

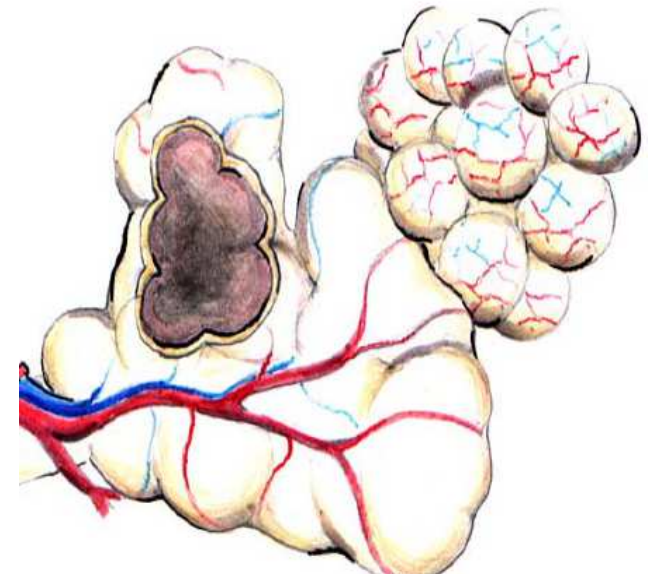
Lungenemphysem

-Definition: irreversible Überblähung der belüfteten Räume distal der terminalen Bronchiolen

-Ätiologie: COPD, α 1-Antitrypsin-Mangel

-Pathogenese: Ungleichgewicht Proteasen-Antiproteasen (α 1-Antitrypsin, α 2-Makroglobulin), Elastasen (neutrophile Granulozyten, Alveolarmakrophagen) → Zerstörung der Alveolarsepten, Elastische Zugspannung ↓. Inaktivierung des α 1-Antitrypsin durch Oxydanzien des Zigarettenrauchens

-Vermehrte Luftfüllung der Lunge (Fassthorax),
-Expiration erschwert



Visköse Atemwiderstände

Emphysempatienten



blue bloater

Bloated=aufgedunsen

Quelle: <http://www.heilpraktiker-fragen.de/bildergalerie/bildergalerie.html>

pink puffer ,
to puff = schnaufen,
keuchen



Quelle: http://meddic.jp/pink_puffer

Welche Behauptung ist falsch ?

Restriktive Lungenerkrankungen :

- a) erniedrigen die Compliance der Lunge
- b) entstehen u.a. durch Lungenfibrose
- c) können durch Verwachsen der Pleurablätter verursacht werden
- d) bedingen eine erhöhte Atemarbeit
- e) sind Folge eines Pneumothorax

Welche Behauptung ist richtig ?

Bei passiver und statischer Druckbefüllung der Lunge läßt sich aus der Beziehung des Lungenvolumens zum intrapulmonalen Druck schließen auf:

- a) die Compliance des Thorax
- b) die Compliance der Lunge
- c) die Compliance von Lunge und Thorax
- d) den Atemstromwiderstand
- e) die am Gasaustausch teilnehmende alveoläre Fläche