

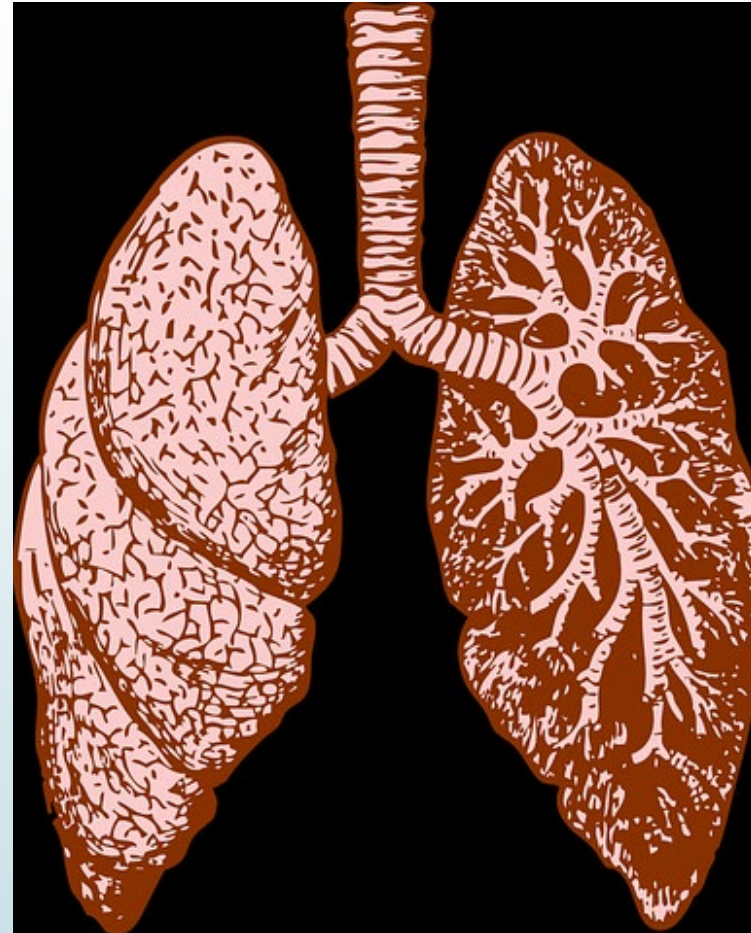
Anatomie /
Physiologie

Atmung

Pneumologie

„Lehre von den Erkrankungen der Lunge und der Bronchien (Lungen- und Bronchialheilkunde) als Teilgebiet der Inneren Medizin.“

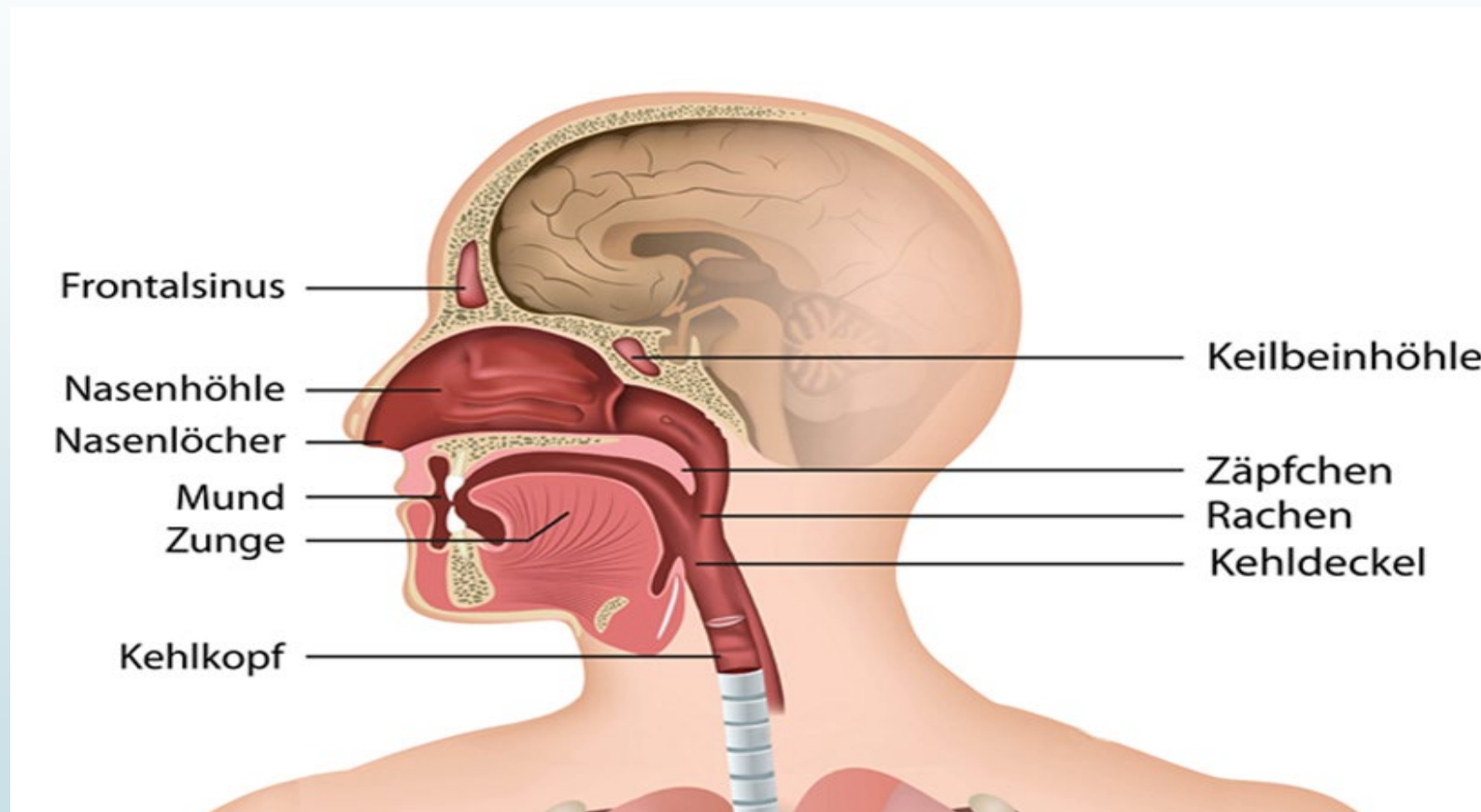
<https://www.pschyrembel.de/Pneumologie/KOHBK>



Übersicht:

- Anatomie / Physiologie
- Reinigung der Atemwege
- Aufgaben der Lunge
- Atemvolumina

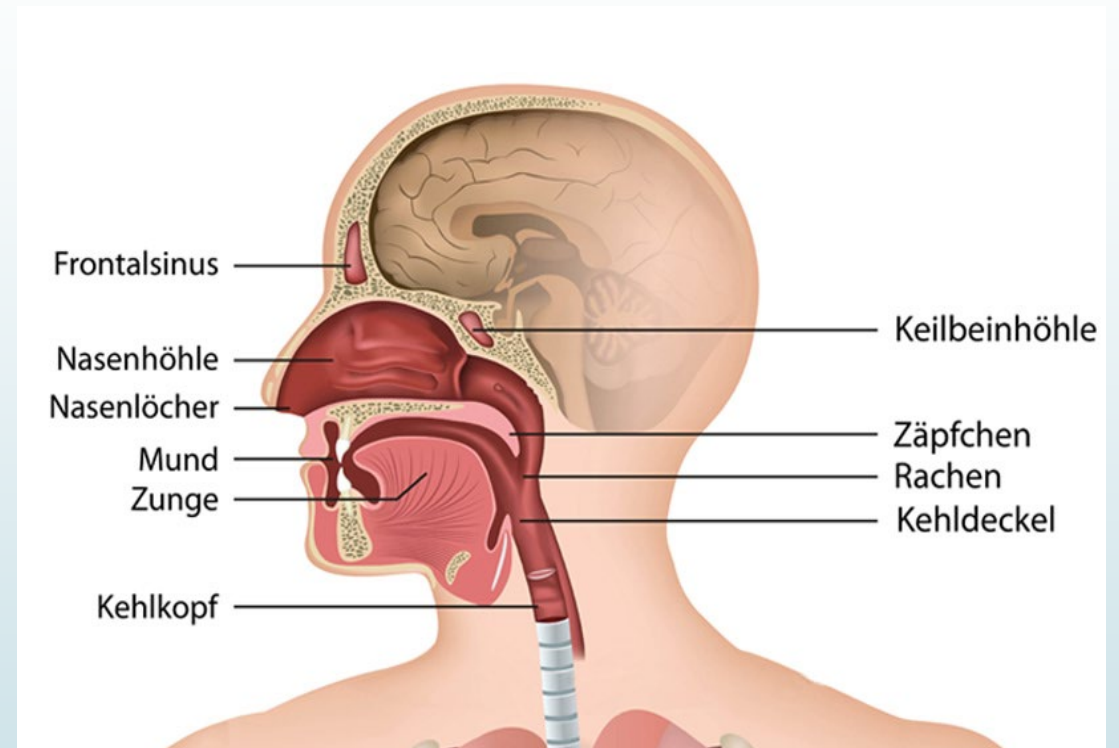
Obere Atemwege



<https://www.inhalation.de/unsere-atemwege/aufbau-atemwege/obere-atemwege/>

Aufgaben der Oberen Atemwege

- Reinigung der Atemluft von Schmutz/Bakterien/Viren
- Anfeuchtung der Trockenen Luft
- Erwärmung auf 37° C – Körpertemperatur



Obere Atemwege

Nase



<https://apps.derstandard.at/privacywall/story/2000117868790/das-coronavirus-kommt-durch-die-nase>

- ▶ Hauptsächlich Knochen- und Knorpelgewebe
- ▶ Nasenbein häufig von Verletzungen betroffen
- ▶ Knorpel dient als Schutz vor Verletzungen
- ▶ Septumknorpel teilt die Nase in 2 Räume
- ▶ Nasenvorhof → 3 Nasenmuscheln → Nasenschleimhaut

Obere Atemwege

Nase



<https://apps.derstandard.at/privacywall/story/2000117868790/das-coronavirus-kommt-durch-die-nase>

Funktion der Nase

- Anpassung der Atemluft (Filterung / Erwärmung / Befeuchtung)
- Identifikation von Gerüchen
- Klang- und Stimmbildung

Exkurs:**Reinigung der Einatemluft**

- Durch den Schleim der Nasen- Rachenhöhle bleiben viele Partikel hängen (10-100ml pro Tag)
- Phagozytose der Schmutzpartikel in den Bronchien
- Zilien und Flimmerepithel schlägt 12-20mal/sec oralwärts (Transport des Schleims ca. 1 cm/min)

Pharynx (Rachen)

Bestehend aus 3 Teilen

- | | |
|-------------|--|
| Nasopharynx | ➤ Nasenhöhle, Ohrtrompeten (Eustachische Röhren)
Rachenmandel |
| Oropharynx | ➤ Mundhöhle, weicher Gaumen, Gaumen-,
Zungenmandeln |
| Hypopharynx | ➤ Luftweg und Speiseweg, hinter Kehlkopf |

Aufgabe:

Zusammenziehen der Muskulatur beim Schlucken

- Verhindert Aspiration (durch Gegendruck der Epiglottis wird Luftröhre abgedichtet)
- Transportiert Speisen in den Magen

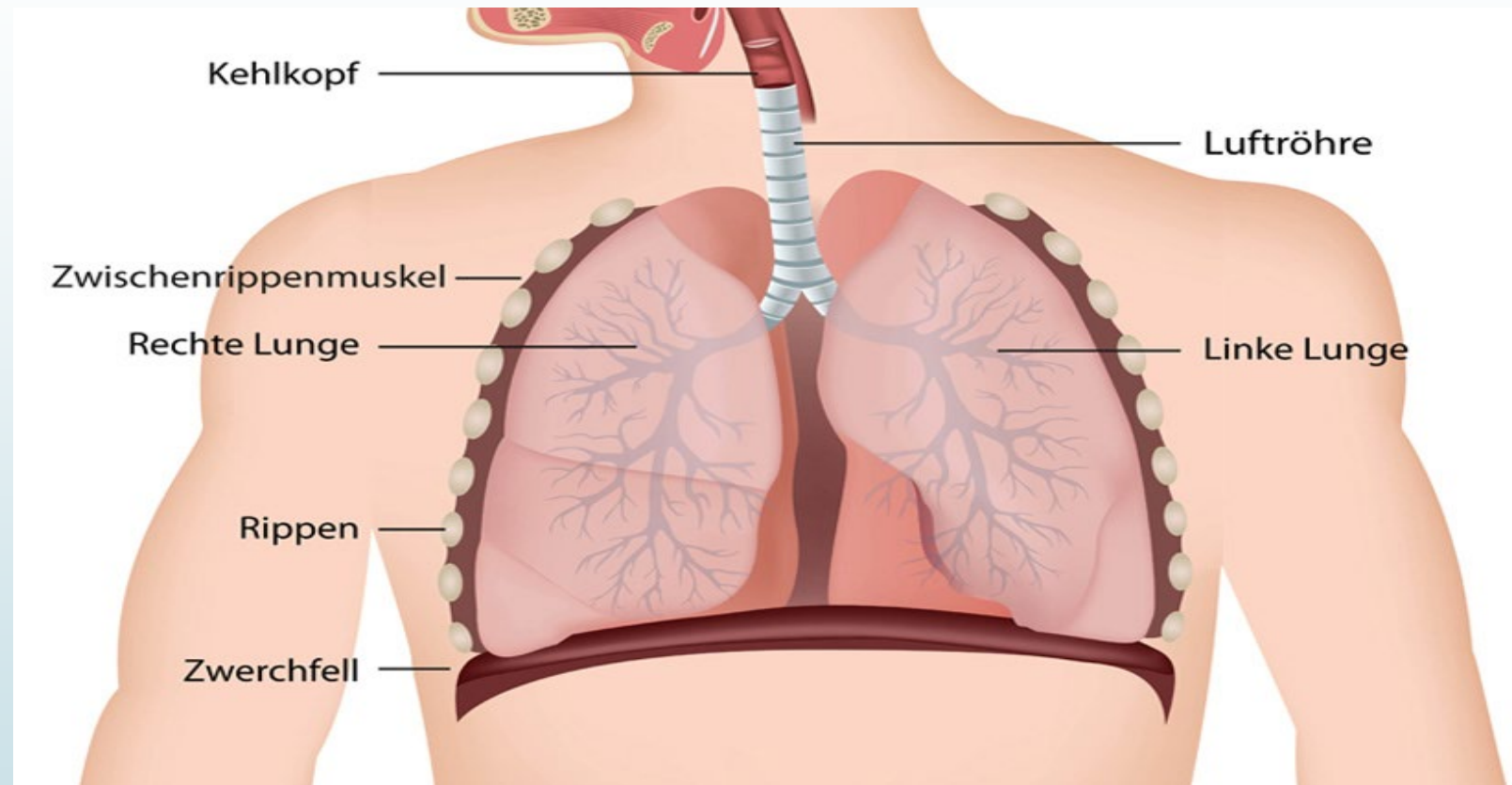
Larynx (Kehlkopf)

Bestehend Schildknorpel, Ringknorpel, Glottis, Epiglottis, Stimmbänder

Aufgabe:

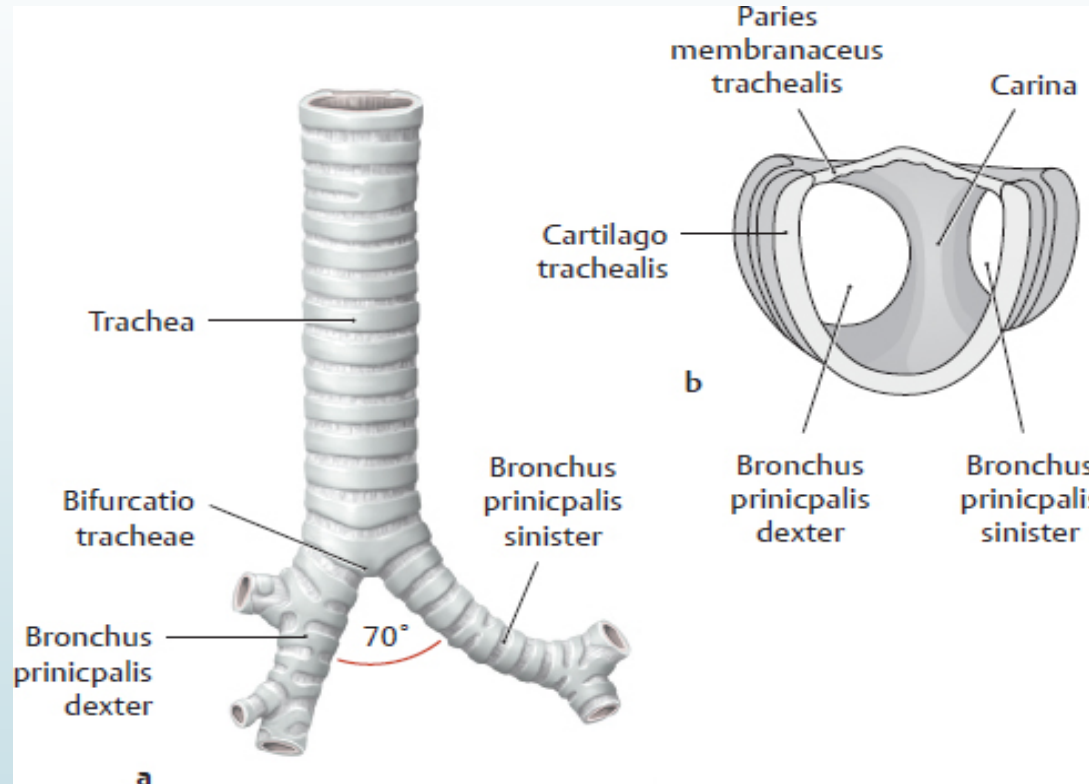
- Stimmbildung durch Stellknorpel
- Verschluss der Glottis beim Schlucken (Druck gegen Pharynx)
- Husten und Pressen (Druckaufbau in der Lunge)

Untere Atemwege



<https://www.inhalation.de/unsere-atemwege/aufbau-atemwege/untere-atemwege/>

Trachea



https://basicmedicalkey.com/wp-content/uploads/2017/01/9781626231689_f0218.jpg

- Länge: 11 – 13 cm
- Durchmesser: 1,5 – 2 cm
- 12 – 15 Knorpelspangen
- Querschnittsveränderung beim Husten möglich
- Verhinderung des kollabieren durch Knorpelspangen
- Tracheomalazie hat Stabilitätsverlust zu Folge -> kollabieren der Trachea

Untere Atemwege

Bronchien

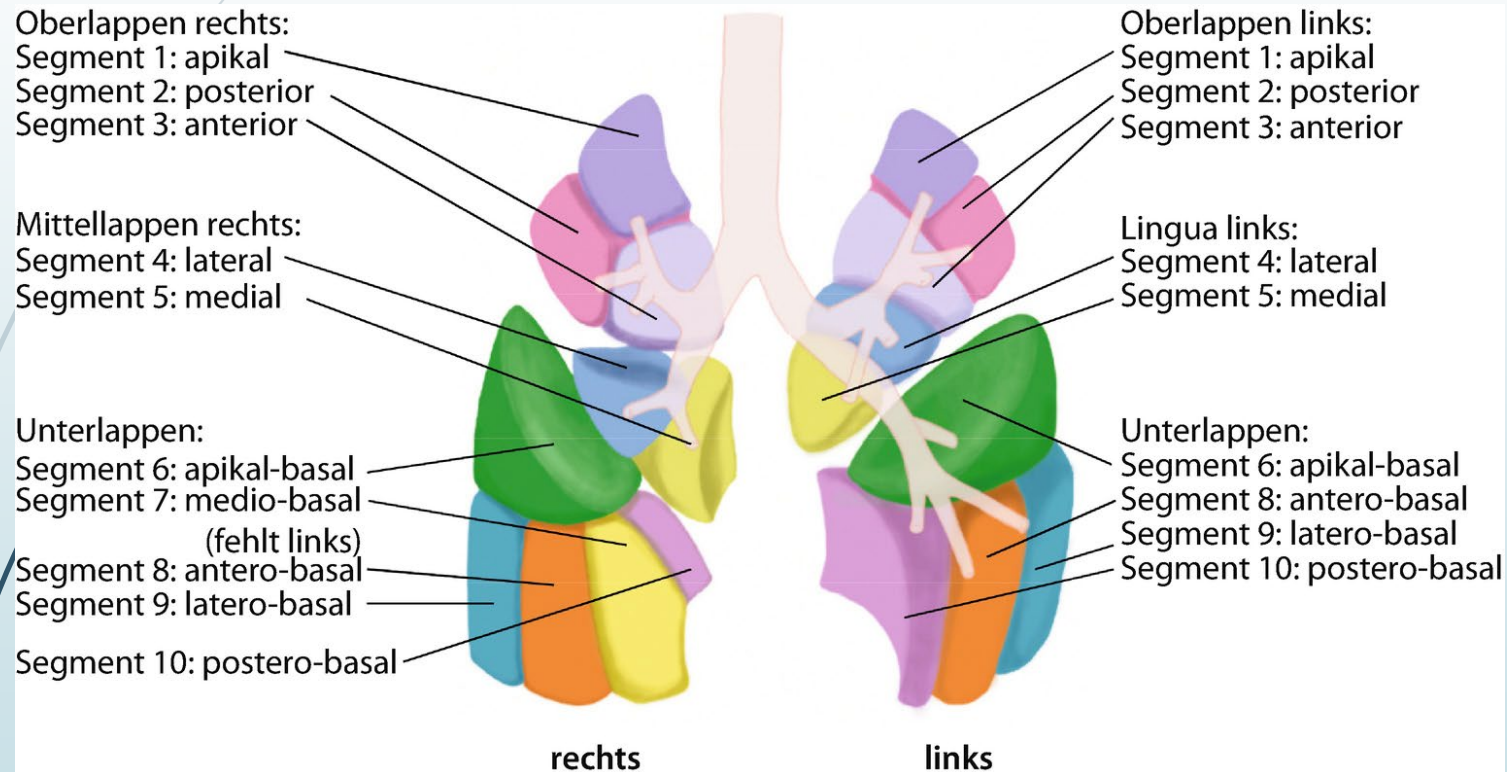


https://images01.netdoktor.at/images_neu_content_bronchitis_fotolia_beschriftet.gif/articletextwide/2463

- Hauptbronchus
 - 8-10 mm dick
 - Abnahme des Durchmessers bis unter 1 mm

Übergang in das Lungengewebe (Parenchym) beginnt nach den terminalen Bronchien

Bronchien



Unterteilung:

- Rechter Hauptbronchus
 - 3 Lappenbronchien
 - 10 Segmentbronchien
- Linker Hauptbronchus
 - 2 Lappenbronchien
 - 9 Segmentbronchien

Besonderheit:

Links fehlt
Mittellappenbronchus

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-59294-6_23

Durchmesser Atemwege

Atemweg	Durchmesser
Trachea	20 mm
Bronchien	10 – 1 mm
Bronchiolen	1000 – 100 μm
Alveolen	300 – 200 μm

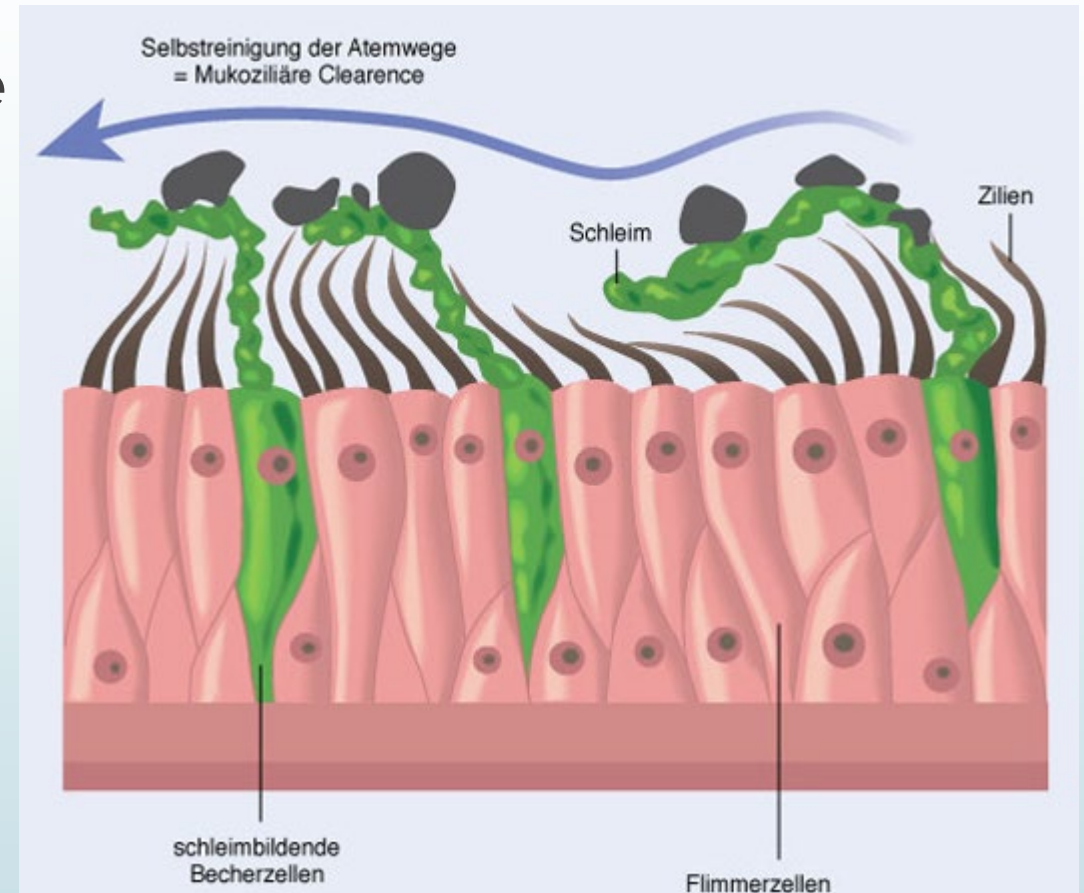
Mögliche Fragen

Welche Abschnitte gehören zu den unteren Atemwegen?

- Trachea
- Nasenhöhle
- Bronchialsystem der Lunge
- Pharynx

Mukoziliäre Clearance

- Becherzellen bilden Schleim um Partikel und Schmutz aus der Lunge transportieren zu können
- Zilien bewegen den Schleim nach oben
- Schlagfrequenz ca. 12-20/sec
- Transportweg ca. 2cm/min
- Sekretbildung pro Tag ca. 10-100ml



Mukoziliäre Clearance – Beeinflussung der Transportgeschwindigkeit

Reduktion der Transportgeschwindigkeit

- Hohe Sauerstoff oder Kohlenstoffdioxidwerte
- Parasympathomimetika

Steigerung der Transportgeschwindigkeit

- β -Sympathomimetika

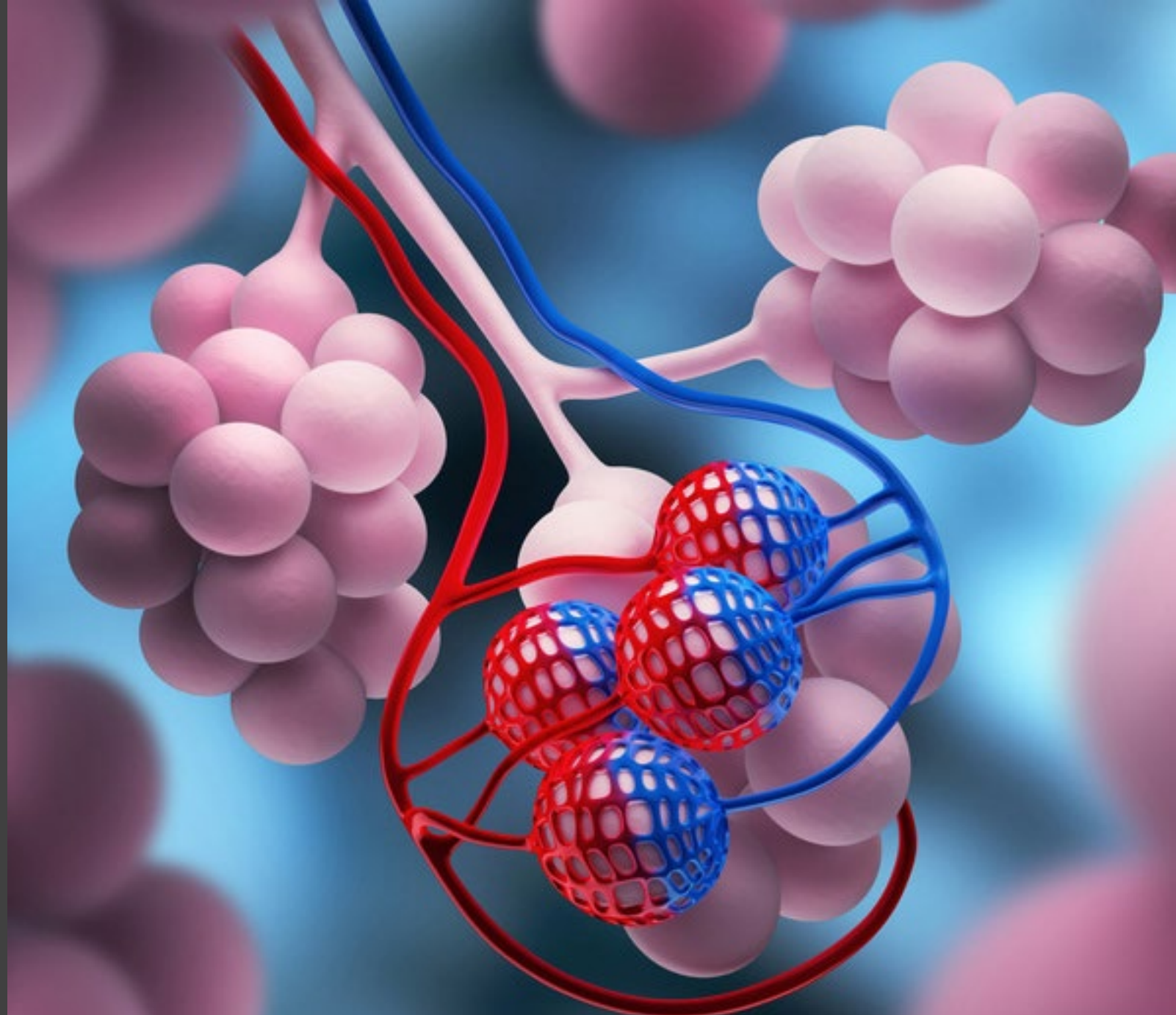
Mukoziliäre Clearance - Störung

Durch chronische Entzündungen (COPD/Rauchen)

- Verdickung der Schleimhäute
- Enge, durch Muskelhypertrophie
- Vermehrte Schleimproduktion
- Instabilität, durch Knorpeldegeneration

Aufgaben der Lunge

- ▶ Gastransport
- ▶ Gasaustausch
- ▶ Metabolische Aufgaben
- ▶ Aufgaben des Lungekreislaufs



Aufgaben der Lunge

Gastransport

Konvektive
Transportsysteme

Lange Transportwege

- Respirationstrakt (Ventilation)
- Herz-Kreislauf-System (Perfusion)

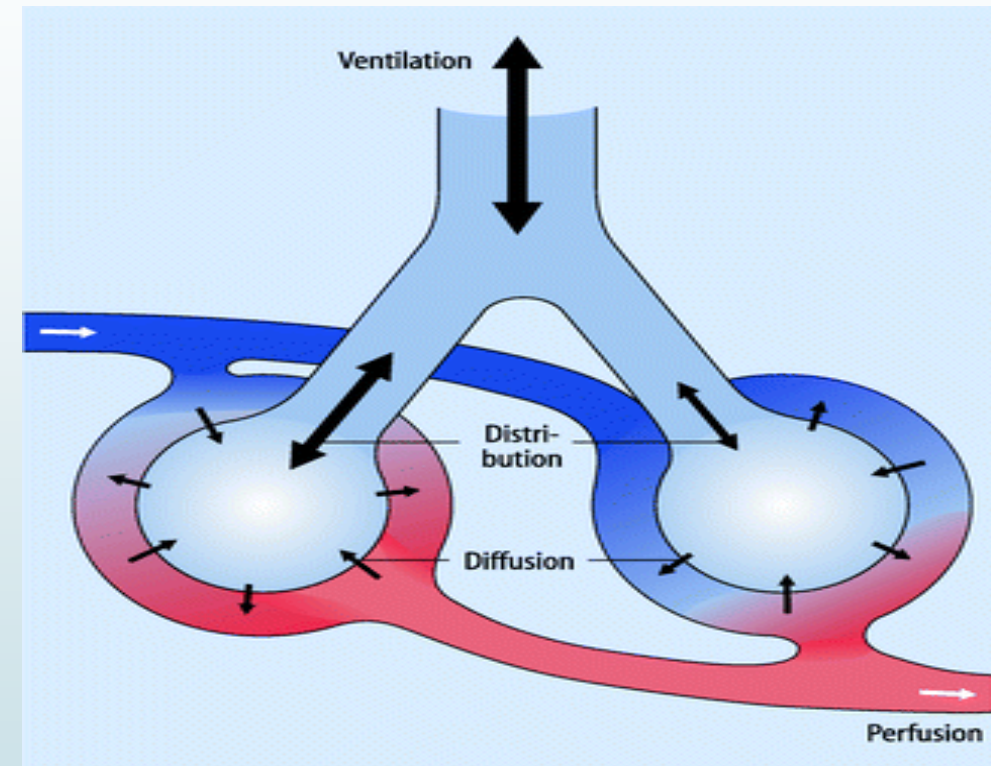
Diffundible
Transportsysteme

Kurze Transportwege

- Alveole – Kapillare
(Gas/Flüssigkeit)
- Erythrozyt – Zelle
(Blut/Gewebe)

Gasaustausch

- ▶ Ventilation (Atmung)
- ▶ Perfusion (Durchblutung)
- ▶ Diffusion

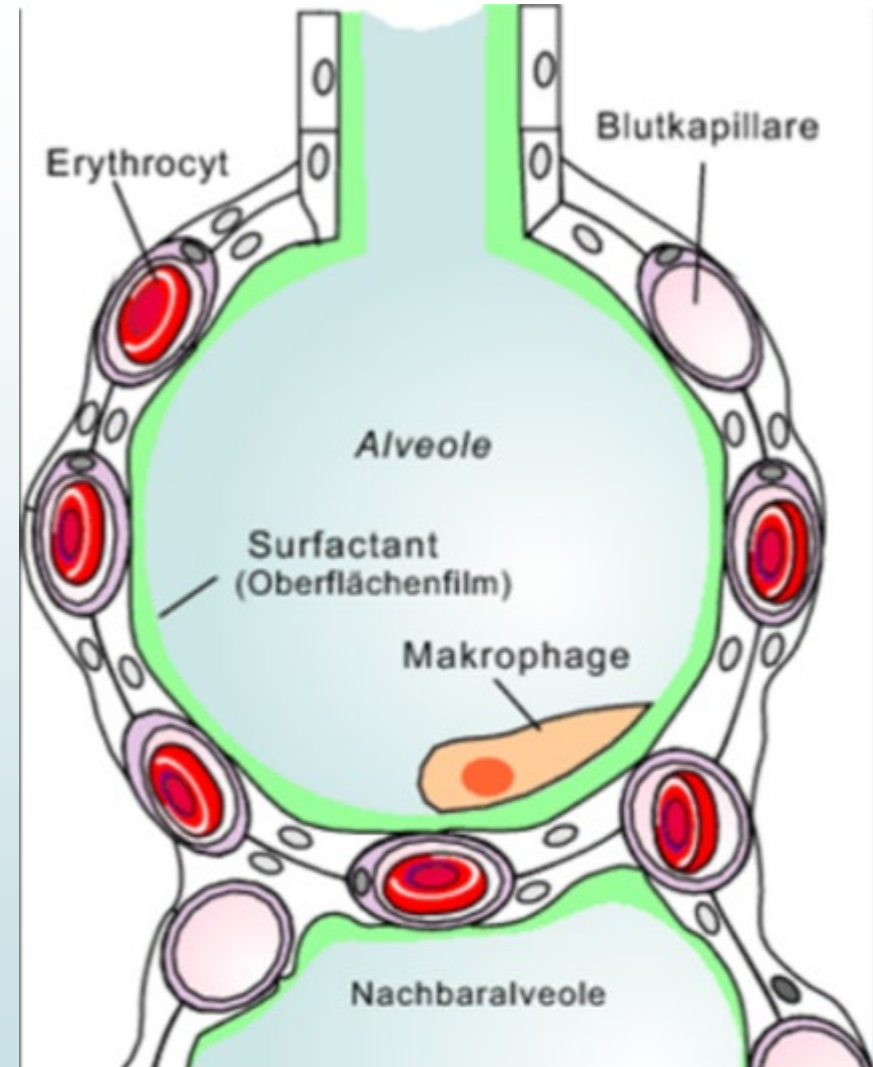


https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-56468-4_27

Aufgaben der Lunge

Gasaustausch

- ▶ Ventilation (Atmung)
- ▶ Perfusion (Durchblutung)
- ▶ Diffusion



Aufgaben der Lunge

Gasaustausch

Äußere Atmung

- Gasaustausch zwischen Organismus und Umwelt
- Sauerstoff wird aufgenommen und an die Erythrozyten abgegeben, CO₂ wird abgeatmet

Innere Atmung

- Nährstoffoxidation (Zellen, Mitochondrien)
- Sauerstoff wird vom Blut zu den Zellen transportiert, Abfallprodukte zur Lunge zurück (CO₂)

Ventilation

Definition:

Luft welche durch die Atemwege befördert wird

- Inspiration
- Expiration

Beeinflusst von Compliance und Resistance

Ventilation

Compliance:

- Dehnbarkeit der Lunge
- Dehnbarkeit des Thorax

Druck der benötigt wird um bestimmte Volumenänderungen zu erzielen

Resistance:

- Widerstand in den Atemwegen

Druck der benötigt wird um die Luft mit einer bestimmten Geschwindigkeit in die Lunge zu leiten

Ventilation

Resistance:

Hagen-Poiseuille-Gesetz

„Das Gesetz von Hagen-Poiseuille besagt u.a., dass der Volumenstrom (Volumen abgeleitet nach der Zeit) direkt proportional zur Druckdifferenz und zur 4. Potenz des Innenradius ist.“

<https://flexikon.doccheck.com/de/Hagen-Poiseuille-Gesetz>

Vereinfacht für die Praxis:

Halbiert sich der Radius steigt der Atemwegswiderstand um das 16 fache

Perfusion

Pulmonaler Kreislauf

Niederdrucksystem:

- Venöses Blut von Herz zu Lunge
- Oxygenierung des Blutes und CO₂ Abatmung
- Arteriell Blut zurück zum Herz → Körperkreislauf

Systemischer Kreislauf

Hochdrucksystem:

- Arteriell Blut wird zu Organen und Zellen transportiert
- Venöses Blut wieder zurück zum rechten Vorhof

Perfusion

Lungendurchblutung

Erfolgt durch den rechten Ventrikel:
HZV des rechten Ventrikel ist annähernd gleich dem linken Ventrikel

Blutdruck in der Lungenarterie:
25/8

Perfusion

Ventilations-Perfusions-Verhältnis

Quotient aus Ventilation und Perfusion (VA/Q)

VA – Ventilation alveolär

Q – Perfusion → Herzzeitvolumen

$$\begin{array}{l} 5 \text{ Liter} \\ \text{Ventilation} \end{array} : \begin{array}{l} 5 \text{ Liter} \\ \text{HZV} \end{array} = \mathbf{1,0 - 0,8}$$

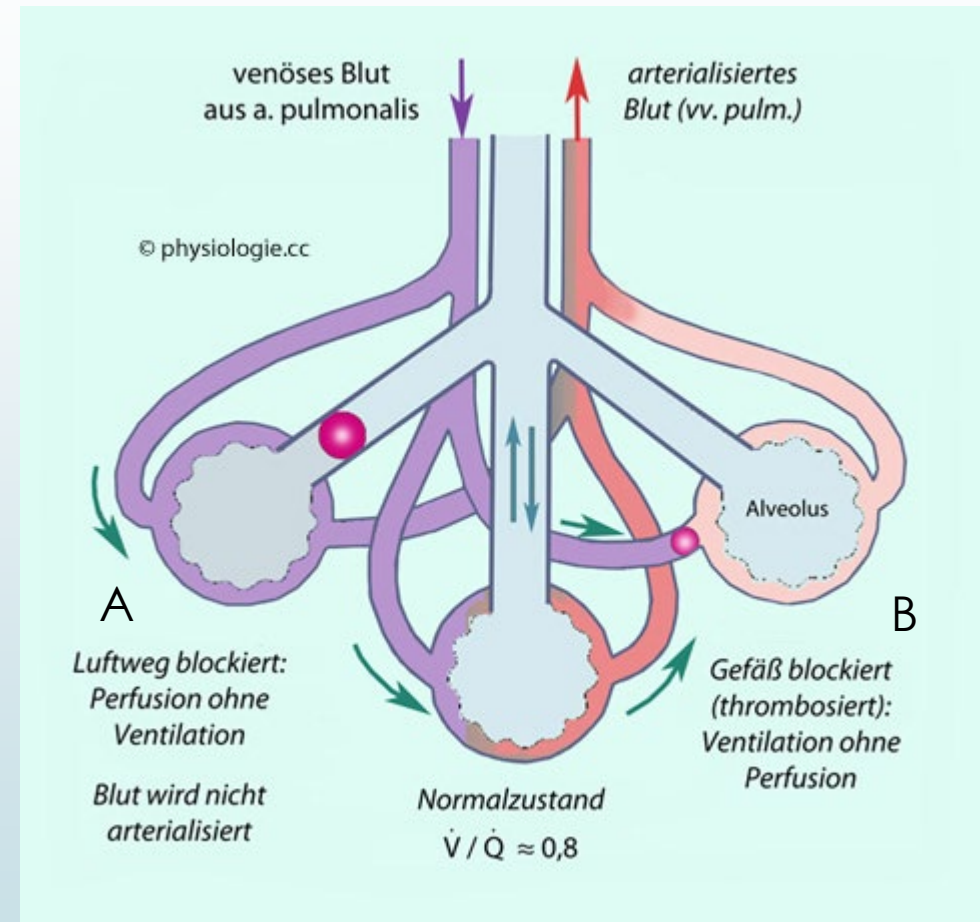
Ventilation-Perfusion

A Perfusion ohne Ventilation:
 $VA/Q = 0$

Bsp: Atelektase

B Ventilation ohne Perfusion:
 $VA/Q = \infty$

Bsp: Lungenembolie



<http://physiologie.cc/VIII.4.htm>

Ventilation-Perfusion

Euler-Liljestrand-Mechanismus

Rechts-links shunt: Blut das vom rechten Herzen in die Lunge fließt, jedoch nicht oxygeniert wird und ungesättigt in das linke Herz und somit in den Körperkreislauf kommt.

Physiologisch bis max. 5 %

Pathologisch durch Atelektasen, Aspiration etc. erhöht.

Um den Körper vor einer Hypoxämie zu schützen greift der Euler-Liljestrand-Reflex. Dieser sorgt für eine Umverteilung des Blutes in die Areale der Lunge, welche besser belüftet werden.

Aufgaben der Lunge

Diffusion

Treibende Kraft –

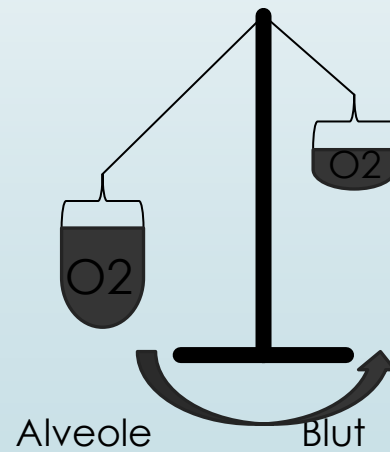
Partialdruckunterschied

Aufgaben der Lunge

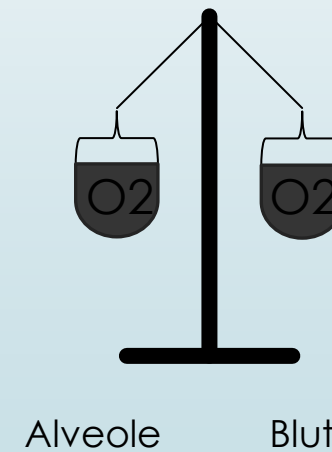
Diffusion

Ein Beispiel - Sauerstoff

Lunge vor Diffusion



Lunge nach Diffusion



Mögliche Fragen

Welche Grundvoraussetzungen müssen für einen guten Gasaustausch erfüllt sein?

- Obstruktion
- Ventilation
- Perfusion
- Diffusion

Metabolische Aufgaben

- Umwandlung von Angiotensin I in Angiotensin II durch ACE (Angiotensin Converting Enzym)
 - Wichtig für die Renin-Angiotensin-Aldosteron Kaskade
- Filtert Serotonin aus der Blutbahn

Aufgaben des Lungenkreislaufes

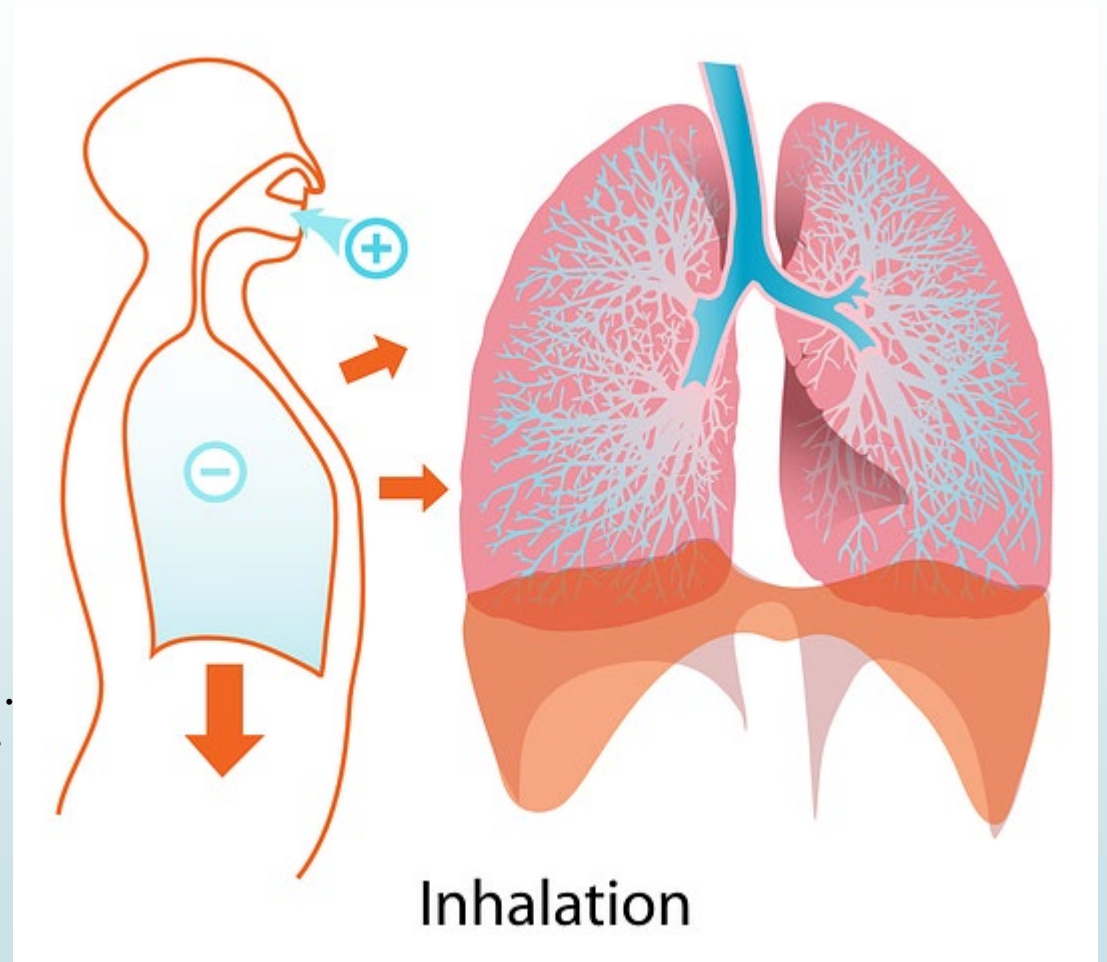
- Pufferfunktion für kurzfristige Schwankungen des Blutvolumens
- Abfangen von Gerinseln aus dem Körperkreislauf, bevor sie in lebensnotwendige Organe gelangen
- Blutbildung, Fokus auf Throbozyten

Atemmechanik

Inspiration

Anspannung der Atemmuskulatur

- Diaphragma (Zwerchfell),
Abflachung -> Vergrößerung
des Lungenvolumen
- Inspiratorische Hilfsmuskulatur
(m. sternocleidomastoideus/ m.
scalenus/ m. pectoralis major +
minor ...)
- unterstützen tiefes einatmen



https://en.wikipedia.org/wiki/Inhalation#/media/File:Inhalation_diagram.svg

Atemmechanik – Druckverhältnisse

Entscheidend ist der Druckunterschied

- Durch das Abflachen des Zwerchfells vergrößert sich das Volumen der Lunge
- Dadurch sinkt der Druck in der Alveole (Sog), somit ist der Atmosphärendruck höher
- Physikalisch muss jedoch immer ein Gleichgewicht der Druckverhältnisse sein (Gesetz nach Dalton)
- Luft strömt in die Lunge um dies auszugleichen

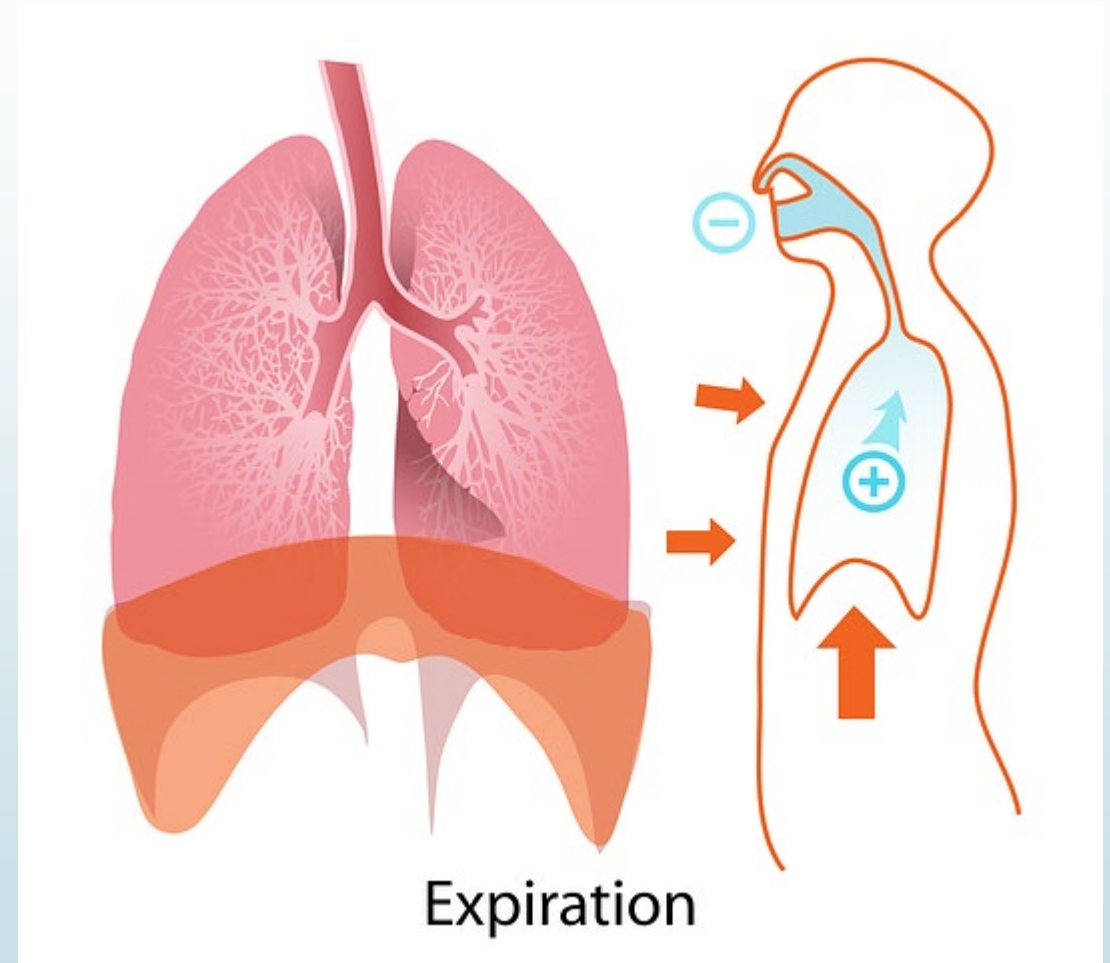
- Umgekehrtes gilt für die Expiration

Atemmechanik

Expiration

Entspannung der Muskulatur

- Passiver Vorgang (Lungenvolumen zurück zu Ausgangsgröße)
- Expiratorische Hilfsmuskulatur (Mm. Intercostales interni/ M. transversus abdominis, m. rectus abdominis...)
- unterstützen Husten und niesen



Welche Aussagen zur Atemmechanik treffen zu?

- Atemmuskulatur spielen eine erhebliche Rolle
- Zwerchfell ist der wichtigste Inspirationsmuskel
- durch den Einsatz der Atemmuskulatur wird das intrathorakale Volumen vergrößert
- das Ausatmen erfolgt durch nicht Erschlaffen der Atemmuskulatur

Atemmechanik

Problem:

- Alveolen kollabieren unterhalb eines gewissen Druckes
- Verbundene Alveolen unterschiedlicher Größe → die kleinere wird zugunsten der Größeren immer kleiner
- Kleine Alveolen benötigen einen höheren Eröffnungsdruck

Lösung:

Surfactant

Atemmechanik

Fokus: Surfactant

- Produktion in Alveolarzellen (Typ II-Zellen)
- Menge: ca. 10-15mg/kgKG

- Phospholipidfilm auf der Oberfläche der Alveolen
- Reduktion der Oberflächenspannung
- Kleinere Alveolen stärker als größere
- Mechanische Stabilisierung (Atemarbeit sinkt, Compliance steigt)
- Verhindert das Kollabieren der Alveolen
- Immunologische Funktion (Bakterizid, verstärkt lokale Immunabwehr, Transport von Schleim und Partikel)

Atemmechanik

Fokus: Surfactant

Bei einer zu hohen Sauerstoffkonzentration wird die Bildung des Surfactant gestört

Dies hat zur Folge dass die Oberflächenspannung der Alveolen steigt →
Atelektasenbildung

→ Acute Respiratory Distress Syndrom – ARDS

Atempumpe

umfasst:

- Gehirn
- Nerven
- Muskeln
- Thorax

Aufgaben:

- Steuerung und Motor
- Garant für die Arbeit der Lunge
- Bei einer Störung der Atempumpe liegt immer ein Ventilationsproblem vor

Atemregulation

Zentrale Steuerung

- Großhirn → Steuerung der Willkürlichen Atmung
- Medulla oblongata → Unwillkürliche Atmung (Steuerung von Ein- und Ausatmung)

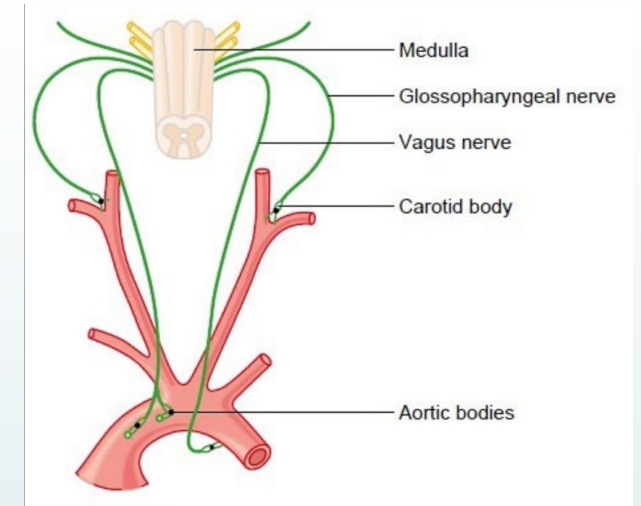
Ziel:

- Regulation von Sauerstoff und Kohlendioxid, abhängig von aktuellem Bedarf

Atemregulation

Die Unwillkürliche Atmung ist abhängig von:

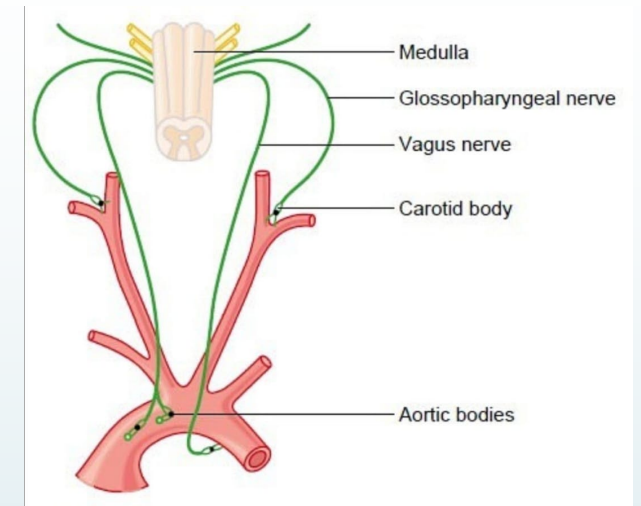
- Partialdrücke von Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid des arteriellen Blutes
 - Chemorezeptoren an Aorta und Arteria Carotis messen pO_2
 - Fällt dieser ab wird über u.a. Nervus Vagus die Atemarbeit verstärkt
- Ein Anstieg des pCO_2 und Abfall von pH-Wert beeinflussen die zentrale Atemregulation und Atemtätigkeit



Atemregulation

Die Unwillkürliche Atmung ist abhängig von:

- CO₂ Partialdruck und pH-Wert im Liquor
 - Anstieg von CO₂ und Abfall von pH-Wert werden von zentralen Chemorezeptoren an Medulla oblongata registriert
 - Steigerung der Atemtätigkeit → Ziel: Senkung des CO₂ Wertes
- CAVE
 - Bei chronisch erhöhtem CO₂ (z.B. COPD-Patienten) nimmt der Atemantrieb wieder ab
 - Atemregulation über periphere paO₂ Chemorezeptoren
 - Problem: bei Sauerstoffgabe kann der Atemantrieb reduziert werden



Atemregulation

Die Unwillkürliche Atmung ist abhängig von:

- Dehnungsrezeptoren in Muskeln und Sehnen
 - Bei erhöhter Muskelarbeit (Sport, körperlicher Arbeit...) wird vermehrt CO₂ produziert
 - Steigerung der Atemtätigkeit → Ziel: Senkung des CO₂ Wertes durch Abatmung
- Vermeidung einer Hyperkapnie

Atemregulation

Die Unwillkürliche Atmung ist abhängig von:

- Einfluss aus höheren Zentren des ZNS
 - Kortex, limbisches System, Hypothalamus, Pons
 - Psychischer Erregung (Angst, Schmerzen...)
 - Reflexen (Gähnen, Niesen, Schlucken ...)

Atemregulation

Die Unwillkürliche Atmung ist abhängig von:

- Pressorezeptoren an Aorta und Arteria carotis
 - Steigerung der Atemarbeit bei Blutdruckabfall

Atemregulation

Die Unwillkürliche Atmung ist abhängig von:

- Körpertemperatur
 - Fieber und Unterkühlung haben Einfluss auf die Atemtätigkeit
 - Registrierung über die Kälterezeptoren der Haut und Chemorezeptoren zur Messung der Bluttemperatur

Atemregulation

Die Unwillkürliche Atmung ist abhängig von:

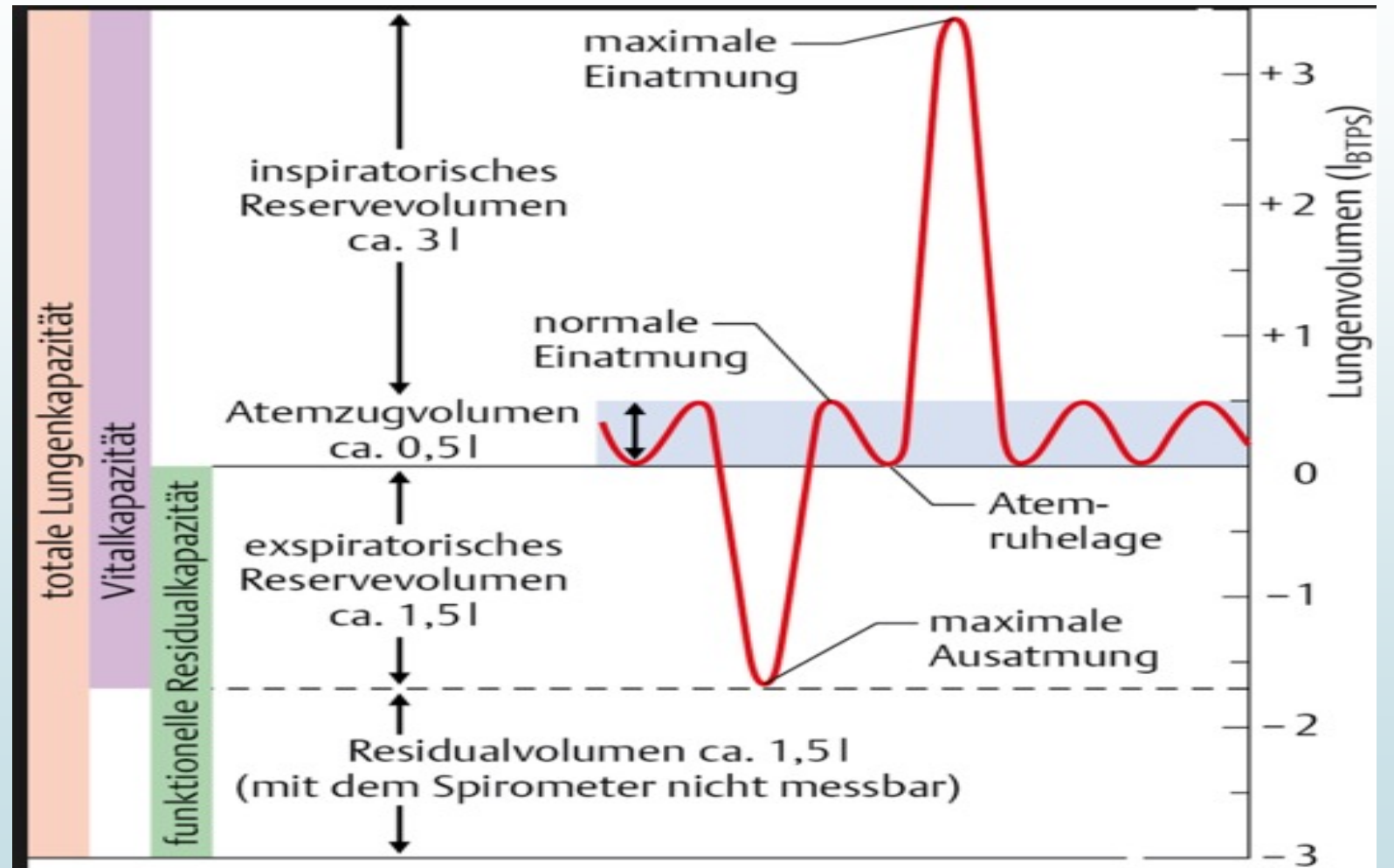
- Hormone
 - Hyperreagibilität der Bronchien bei Frauen während der Menstruation

Mögliche Fragen

Was hat keinen Einfluss auf den Atemantrieb?

- Hormone
- der Co₂- Wert im Blut
- Stress/körperliche Belastung
- Ausscheidung pro Tag

Atemvolumina



Atemvolumina

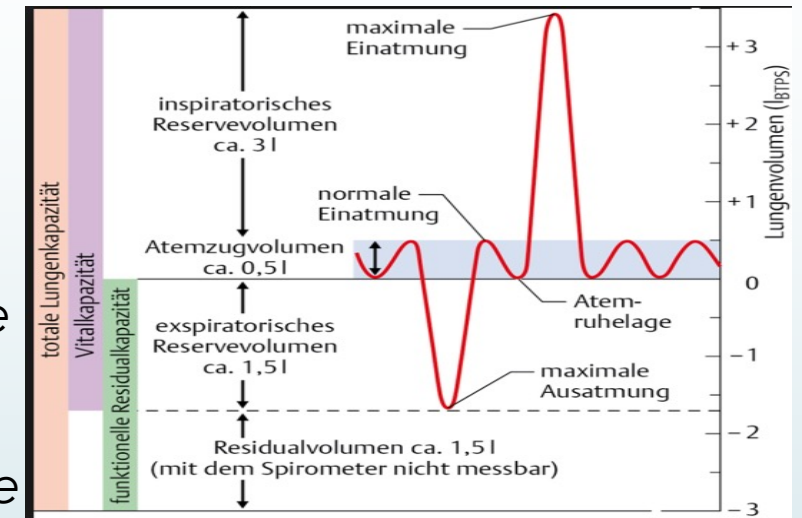
Atemzugvolumen (AZV): *normale Atmung*

Inspiratorische Reservevolumen (IRV): *maximale Einatmung*

Expiratorische Reservevolumen (ERV): *maximale Ausatmung*

Residualvolumen (RV): *Volumen das nach max. Ausatmung in Lunge bleibt*

Funktionelle Residualkapazität (FRC): $ERV + RV$



Vitalkapazität: $IRV + AZV + ERV$

Totale Lungkapazität:
 $IRV + AZV + ERV + RV$

Mögliche Fragen

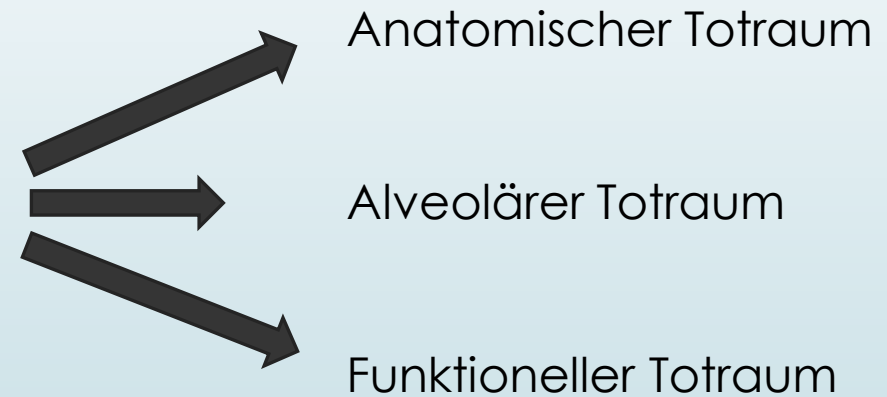
Erkläre die Vitalkapazität in eigenen Worten

Atemvolumina

Totraum

Definition:

Anteil des Respirationstraktes,
welcher nicht am Gasaustausch
teilnimmt



Atemvolumina

Totraum - Anatomischer

Definition:

Atemwege von Nase bis zu den terminalen Bronchien

Funktion:

- Zu- und Ableitung von Luft
- Säuberung der Einatemluft
- Anfeuchtung und Erwärmung
- Kehlkopf als Stimmorgan

Berechnung:

- Beim Erwachsenen ca. 2-2,5ml/kg KG
- Etwa 150 ml

Atemvolumina

Totraum - alveolär

Definition:

Alveolen die nicht am Gasaustausch teilnehmen

Pathologische Gründe:

- Minderdurchblutung (Schock, Embolie...)
- Minderbelüftung (Atelektasen...)

Atemvolumina

Totraum – funktionell

Definition:

Summe anatomischer und alveolärer Totraum

Physiologie der Lunge

Atemvolumina	Zahlen	
Herzzeitvolumen	70ml/kgKG	Ca. 5L
Sauerstoffaufnahme, Gewebe	4ml/kgKG	Ca. 300ml
CO ₂ -Abatmung	3,5ml/kgKG	Ca. 250ml
Atemminutenvolumen		Ca. 7,5L
Atemzugvolumen		Ca. 500ml
Alveolare Ventilation		Ca. 5,3L
Totraumventilation	2-5ml/kgKG	Ca. 2,2L

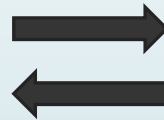
Zusammensetzung der Luft

Gas	Konzentration	Druck
Stickstoff	78 %	592 mmHG
Sauerstoff	21 %	159 mmHG
Edelgase	1 %	8 mmHG
Kohlendioxid	0,034%	0,25 mmHG
Gesamt:		
Auf Meereshöhe	100 %	760 mmHG

Atemgase

Drücke nach der Einatmung
in der Lunge

pN₂ = 574 mmHg
pO₂ = 100 mmHg
pCO₂ = 39 mmHg
pH₂O = 47 mmHg



Drücke in der Lungenarterie

pO₂ = 40 mmHg
pCO₂ = 45 mmHg

Atemgase

Normwerte

Parameter	Normwert	Bemerkung
paO ₂	90 mmHg	Berechnung: 100 – Hälfte Lebensalter
SaO ₂	90-99 %	
paCO ₂	35-45 mmHg	
CaO ₂ (art. Sauerstoffgehalt)	Ca. 18 ml/dl	Berechnung: Hb x 1,36 x SaO ₂ + paO ₂ x0,0031

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit