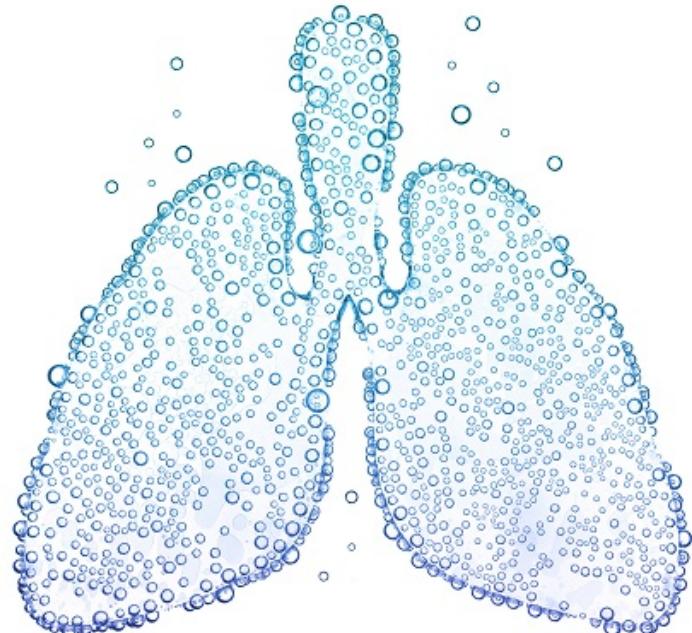


# Respiratorisches System



# Atmungssystem

- Hauptaufgabe ist der Gasaustausch der Lunge
- Blut nimmt Sauerstoff auf und gibt Kohlendioxid ab
- Gliederung in:
- **Obere Atemwege**
  - Nasenhöhle (Cavitas nasi)
  - Rachen (Pharynx)
  - Kehlkopf (Larynx)
- **Untere Atemwege**
  - Luftröhre (Trachea)
  - Lunge (Pulmo)

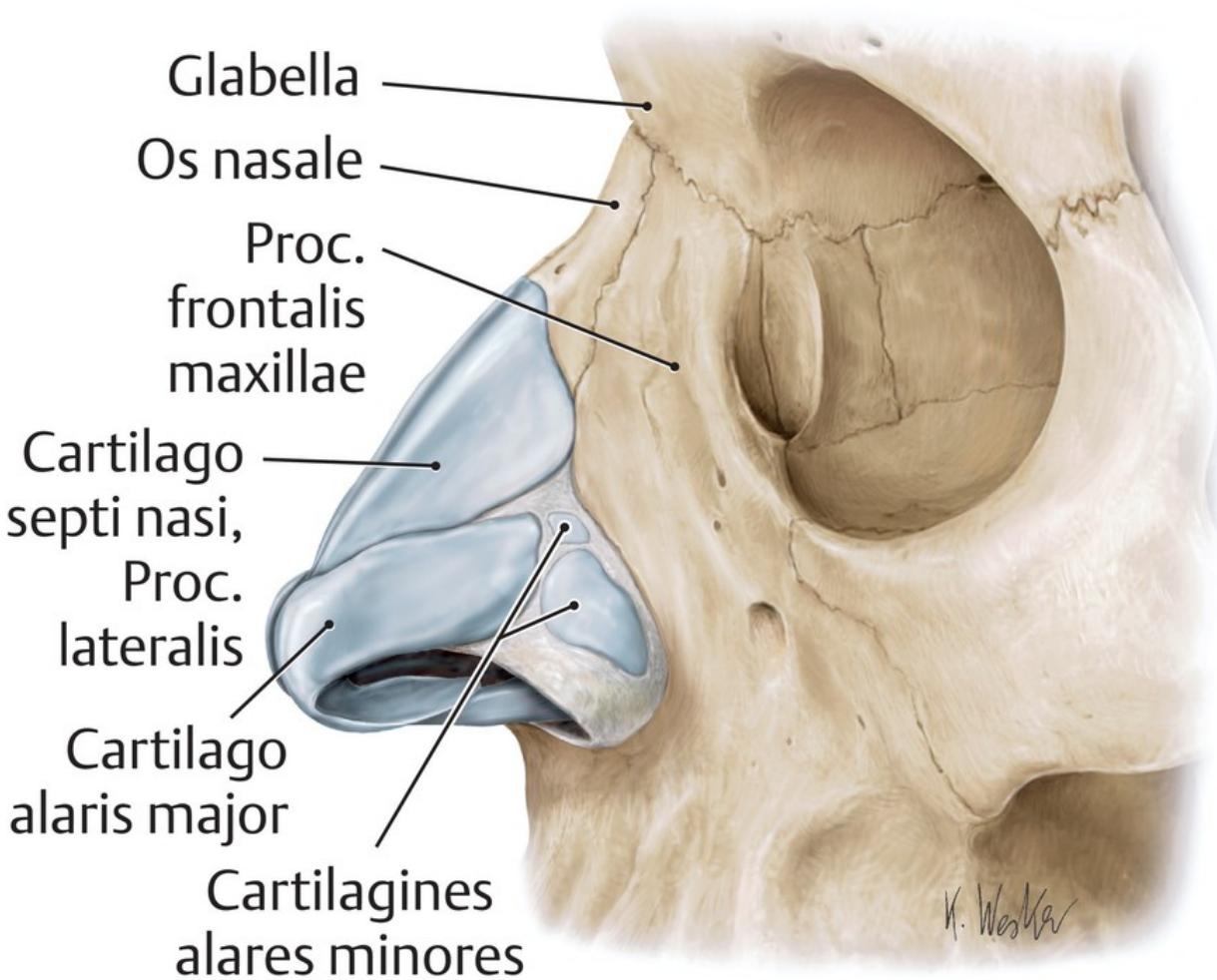
# Nase und Nasenhöhle

- Hält durch borstenartigen Besatz grobe Partikel zurück
- Absonderung von Sekreten und Schleim
- Wärmt und befeuchtet die eingeatmete Luft
- Reichlich vorhabende Immunzellen binden hier schon Schadstoffe
- Sprachbildende Funktion in Kombination mit Nasennebenhöhlen
- Sitz der Riechschleimhaut (Regio olfactoria)

# Äußere Nase (Nasus externus)

- Besteht aus knöcherner Nasenwurzel (**Radix nasi**), Nasenknochen (**Os nasale**) und dem **Processus frontalis maxillae**
- Knorpelige Nasenrücken (**Dorsum nasi**), Nasenflügel (**Alae nasi**)
- Anlage zweier Nasenlöcher (**Nares**), getrennt durch das Nasenseptum

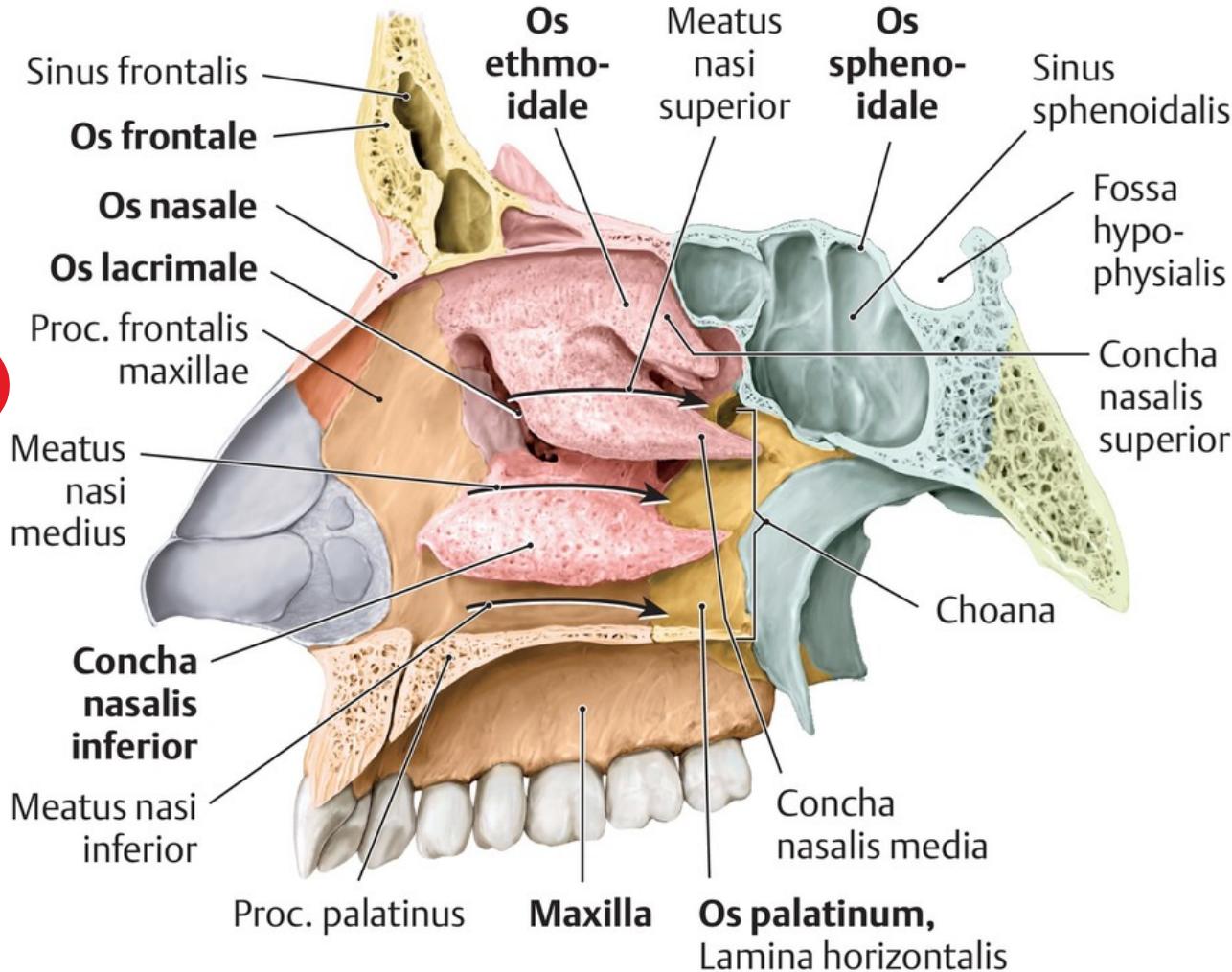
# Äußere Nase (Nasus externus)



# Nasenhöhle (Cavitas nasi)

- Paarig angelegt
- Ist ebenfalls durch das Nasenseptum getrennt
- Das Nasenseptum ist in der Nasenhöhle knöchern
- Hintere Öffnungen (**Chonae**) führen in den Epipharynx (Nasopharynx)
- Bildet mit schwelkörperartigem Gewebe überzogene Nasenmuscheln aus (**Conchae nasalis inferior, media et superior**)
- Steht in Verbindung zu den **Nasennebenhöhlen**

# Nasenhöhle (Cavitas nasi)



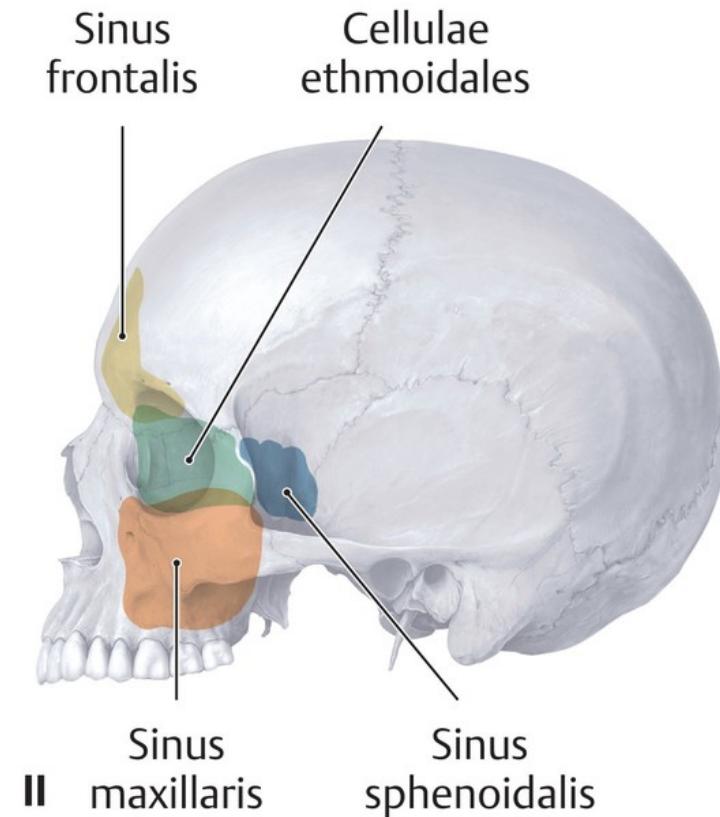
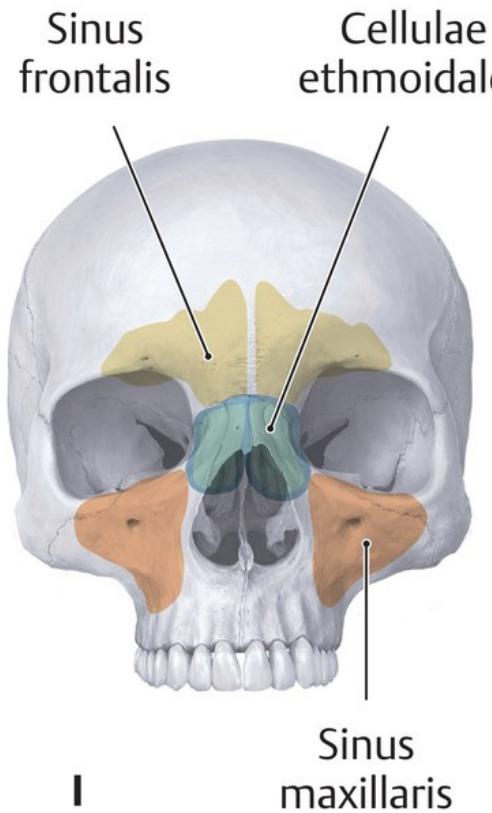
# Nasennebenhöhlen (Sinus paranasales)

- Aussackungen der Nasenhöhle in umliegende **Knochen**
- Bilden sich erst **postnatal** bis zum Jugendalter
- Form und Größe daher sehr verschieden
- Vermindern das Gewicht der Knochen
- Bilden **Resonanzräume**
- Sind nach dem Knochen benannt in den sie hineingewachsen sind

# Nasennebenhöhlen (Sinus paranasales)

- Unterteilung der Nasennebenhöhlen:
  - **Sinus maxillaris**
  - **Sinus sphenoidalis**
  - **Sinus frontalis**
  - **Sinus ethmoidalis**

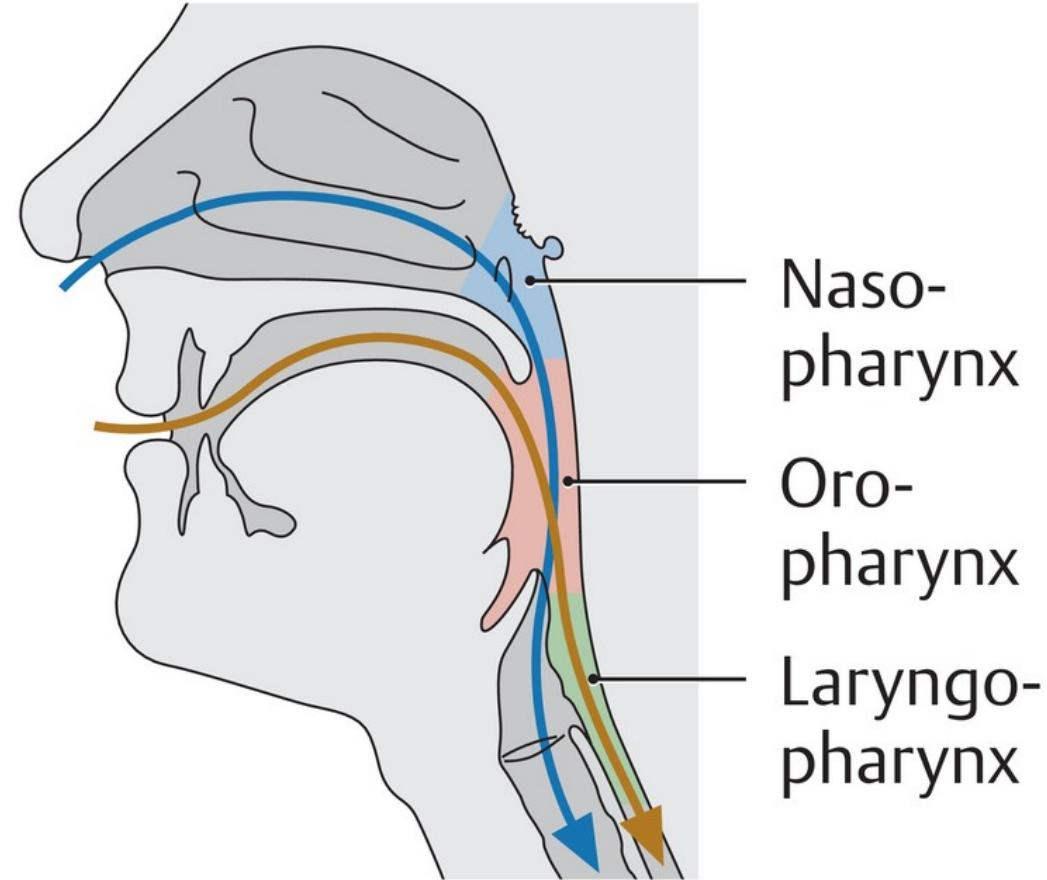
# Nasennebenhöhlen (Sinus paranasales)



# Rachen (Pharynx)

- **Weiterleitung der Luft** aus Nasen- und Mundhöhle in Luftröhre (Trachea)
- Weiterleitung von Nahrung und Flüssigkeit in die Speiseröhre (Oesophagus)
- 12-15cm langer Muskelschlauch
- Zieht sich von Schädelbasis bis Höhe des Ringknorpels
- Ist gegliedert in:
  - **Nasopharynx** (Epipharynx)
  - **Oropharynx** (Mesopharynx)
  - **Laringopharynx** (Hypopharynx)

# Rachen (Pharynx)



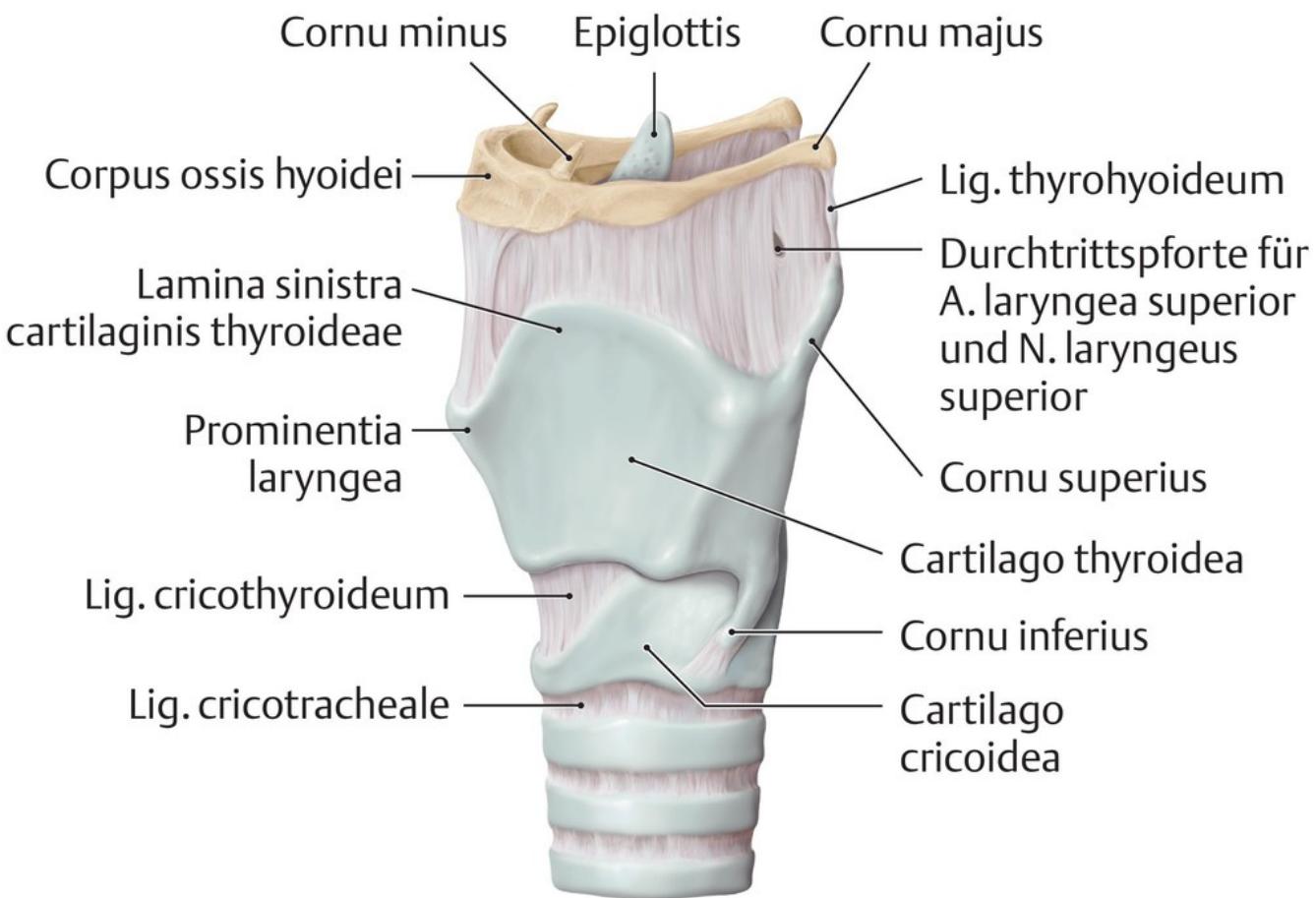
# Kehlkopf (Larynx)

- Am Zungenbein (Os hyodeum) aufgehängen
- Übergang von Pharynx zu Trachea
- Knorpelig-muskuläres Verschluss-System
- Erfüllt Atemfunktion, Phonationsfunktion, Schutzfunktion
- Oberer Rand auf Höhe HWKIV

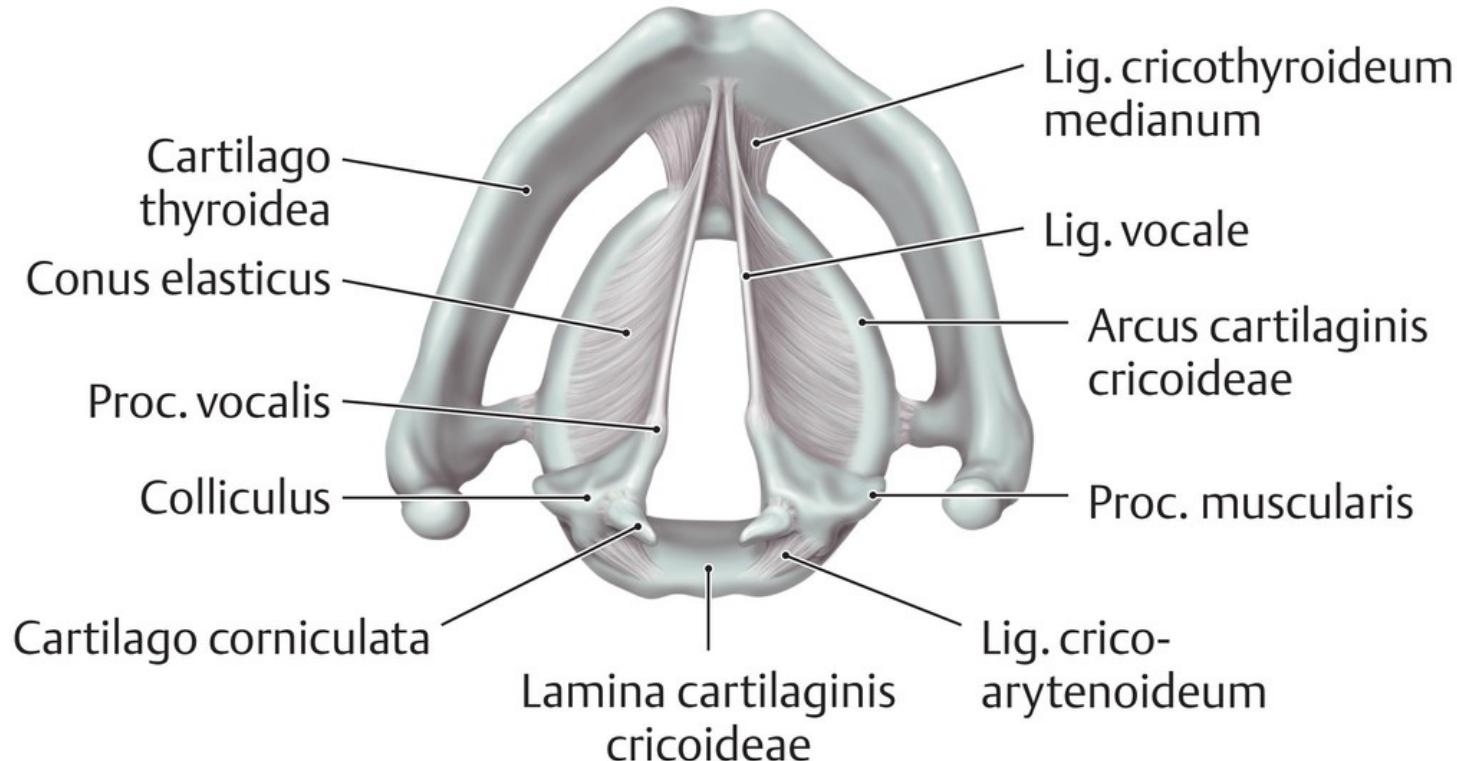
# Kehlkopf (Larynx)

- Gelenkig verbundene Knorpelplatten
- Bilden Kehlkopfskelett aus:
  - **Kehldeckel** (Epiglottis)
  - **Schildknorpel** (Cartilago thyroidea)
  - **Ringknorpel** (Cartilago cricoidea)
  - **Stellknorpel** (Cartilago arytenoidea)
- Kann durch Muskelzüge eng oder weit gestellt werden

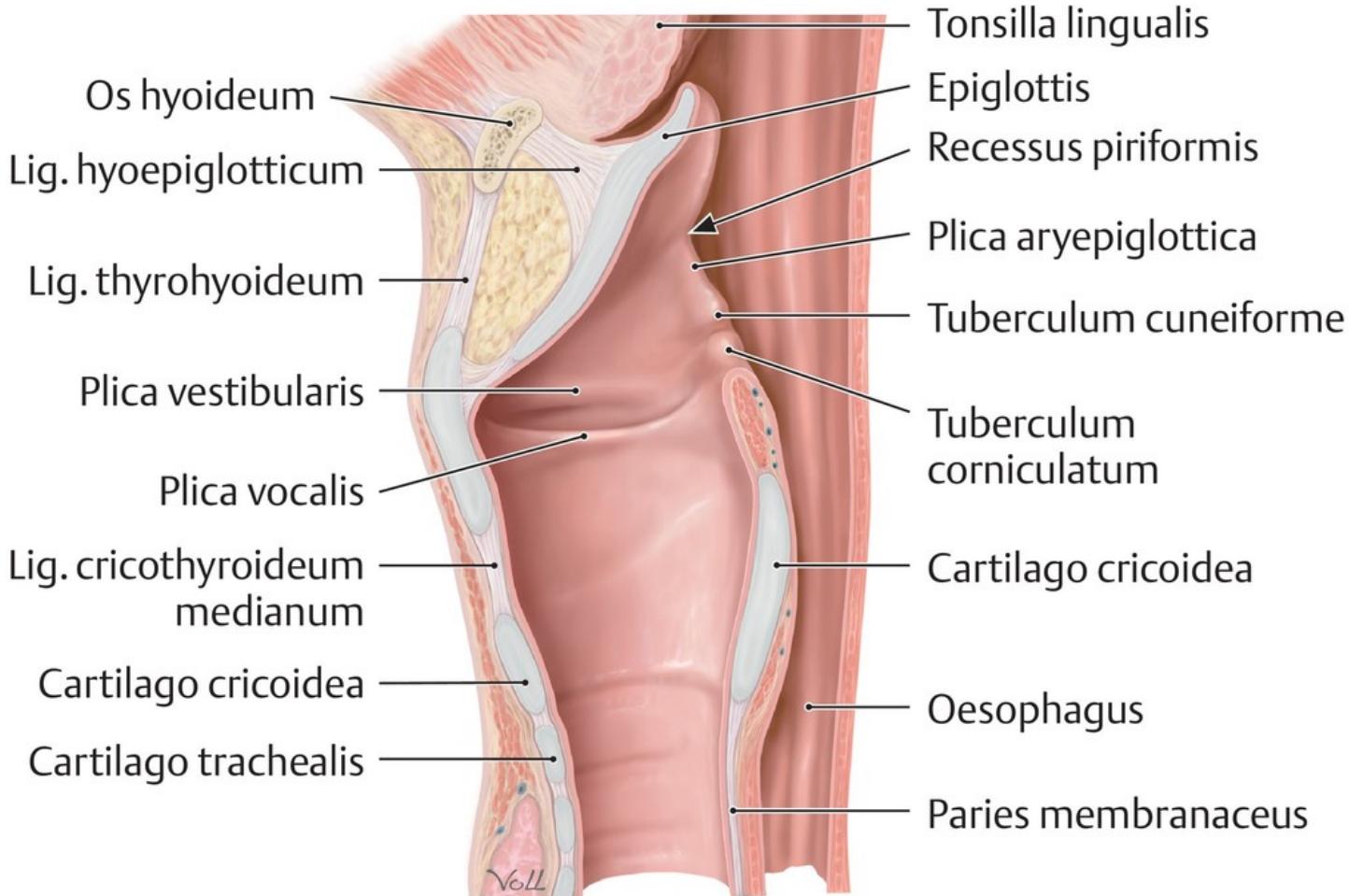
# Kehlkopf (Larynx)



# Kehlkopf (Larynx)



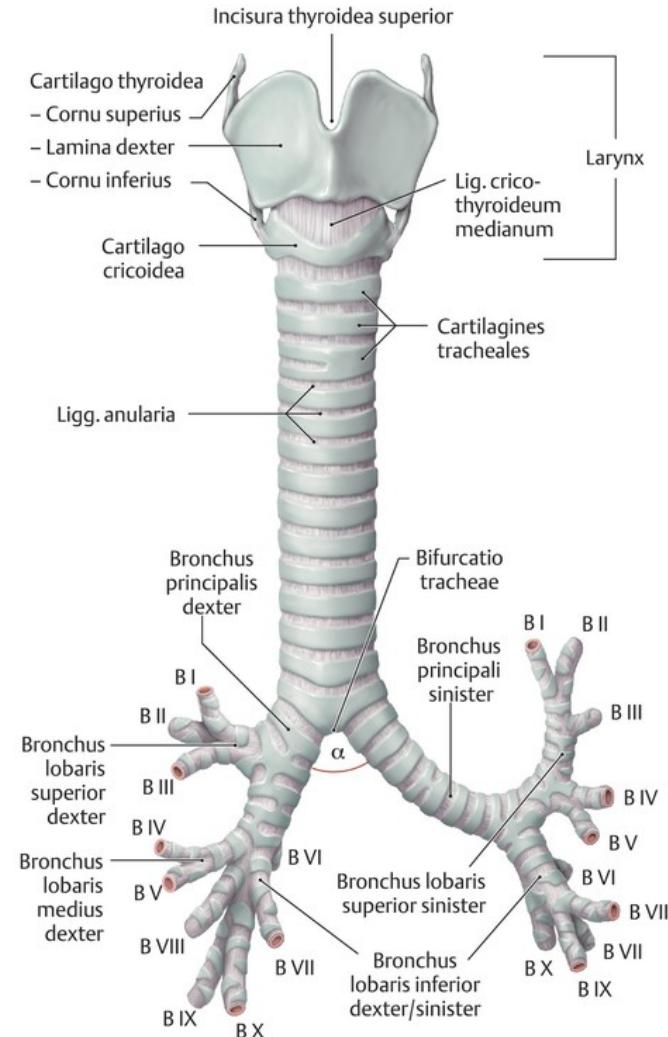
# Kehlkopf (Larynx)



# Luftröhre (Trachea)

- Die Trachea und die ihr entspringenden Hauptbronchien transportieren Luft zur Lunge
- 10-12cm langes Rohr, Durchmesser ca. 1,5-2cm
- Reicht von **Ringknorpel** bis zu **Bifurkation** (Bifurcatio tracheae)
- HWK VI – BWK IV
- Gliedert sich in:
  - **Pars cervicalis**
  - **Pars thoracica**

# Luftröhre (Trachea)



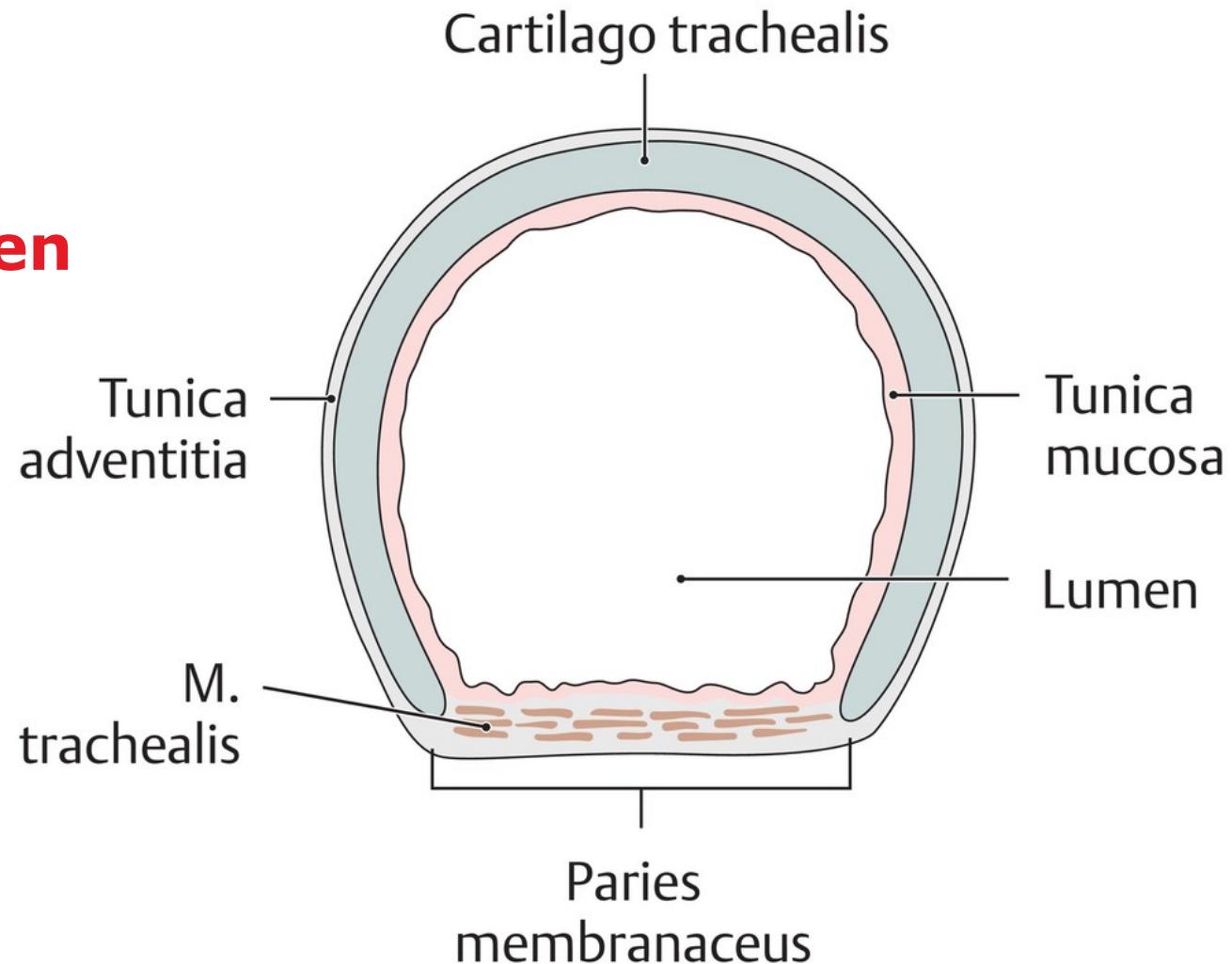
# Wandbau der Trachea

- Wird **ventral und lateral** durch hufeisenförmige **Knorpelspannen** stabilisiert
- Halten die Trachea offen
- Knorpelspannen sind durch Ligg. anularia verbunden
- Erlauben **Längsdehnung**
- Dorsal finden sich kein Knorpel (**Pars membranaceus**)
- Dort befindet sich der **Musculus trachealis**, reguliert die Weite der Trachea
- Man unterscheidet drei Wandschichten

# Wandschichten der Trachea

- **Tunica mucosa:**
  - **Mehrreihiges Flimmerepithel** (Transport eingeatmeter Partikel Richtung Rachen mit 5mm/min)
  - **Becherzellen** im Epithel (Abgabe von Sekret)
- **Tunica fibromusculocartilaginea:**
  - Ligg. anularia (**„fibro“**), Verbindung der Knorpelspangen
  - M. trachealis (**„musculo“**)
  - Knorpelspangen (**„cartilaginea“**)
- **Tunica adventitia:**
  - Lockeres Bindegewebe, Befestigung der Trachea in die Umgebung

## Wandschichten der Trachea



# Hauptbronchus (Bronchus principalis)

- An der Bifurcatio tracheae teilt sich die Trachea in **rechten** und **linken Hauptbronchus** (Bronchus principalis dexter et sinister)
- Wandbau **gleicht** dem der Trachea
- **Bronchus principalis dexter:**
  - Etwa **20°** von der Verlaufsrichtung der Trachea
  - 1-2,5cm lang, Durchmesser von ca. 14mm
- **Bronchus principalis sinister:**
  - Stärker abgewinkelt: **35°**
  - 4-5cm lang, Durchmesser von ca. 12mm

# Innervation des Bronchialbaums

- Versorgung der Hauptbronchien und des nachfolgenden Bronchialbaums über Plexus pulmonalis
- Versorgung erfolgt sensorisch, sympathisch und parasympathisch
- In den Plexus pulmonalis ragen Äste des N. vagus und des Truncus sympatheticus

# Innervation des Bronchialbaums

- Sensorische Nervenfasern:
  - Dehnungs- und Atmungsrezeptoren
- Parasympathisch:
  - **Aktivierung** der glatten Muskulatur in Ruhe oder bei Exspiration
  - **Bronchokonstriktion**
- Sympathisch:
  - Vermitteln über  **$\beta_2$ -Rezeptoren** eine **Erschlaffung** der Glatten Muskulatur bei Anstrengung oder Inspiration
  - **Bronchodilatation**

# Lunge (Pulmo)

- Paariges Organ in der Brusthöhle (**Cavitas thoracis**)
- Hauptorgan der Atmung
- Besteht aus rechtem und linken Lungenflügel (**Pulmo dexter et sinister**)
- Beide Lungenflügel bilden eine Funktionseinheit
- Ort des **Gasaustauschs** ( $O_2$ - $CO_2$ )

# Lunge (Pulmo)

- Liegen unterhalb der Rippen, seitlich des Mediastinums
- Lungenbasis (**Basis pulmonis**) sitzt dem Zwerchfell auf
- Lungenspitze (**Apex pulmonis**) ragt einige cm über die Thoraxapertur hinaus
- Beide Lungen werden von einem Pleurasack
- Wiegen ca. 800g, ohne Blut ca. 550g

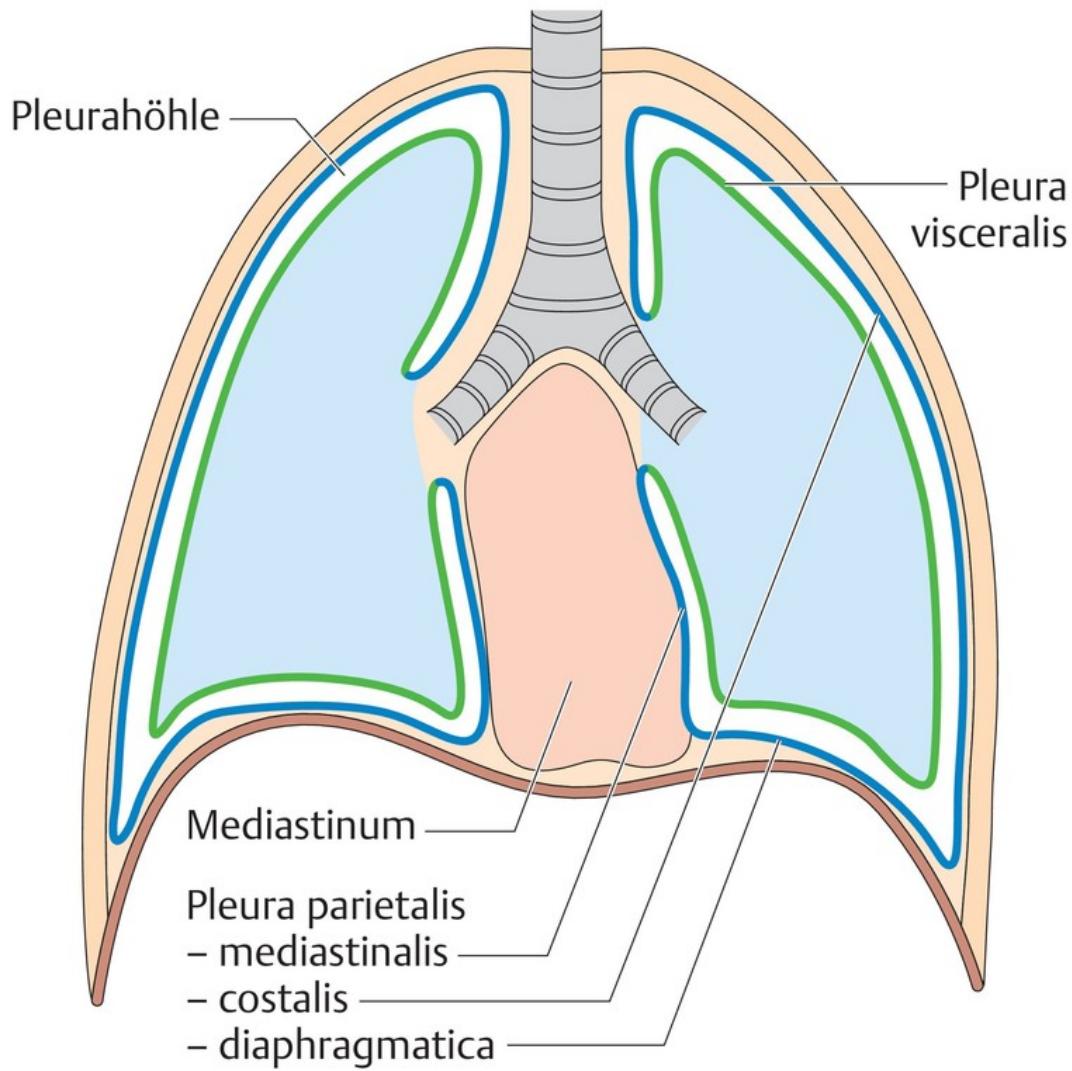
# Pleura

- Kleidet als seröse Haut die Pleurahöhle aus
- Besteht aus einem **viszeralen** und einem **parietalen Blatt**
- Die Pleurahöhle dient der Lunge als **Reserveraum** für die Ausdehnung
- Durch in den **Pleuraspalt** abgegebene Flüssigkeit (ca. 5ml) findet diese Ausdehnung reibungsarm statt
- Durch Unterdruck **haftet** die Lunge an parietalem Blatt der Pleura und kann sich so mehr ausdehnen

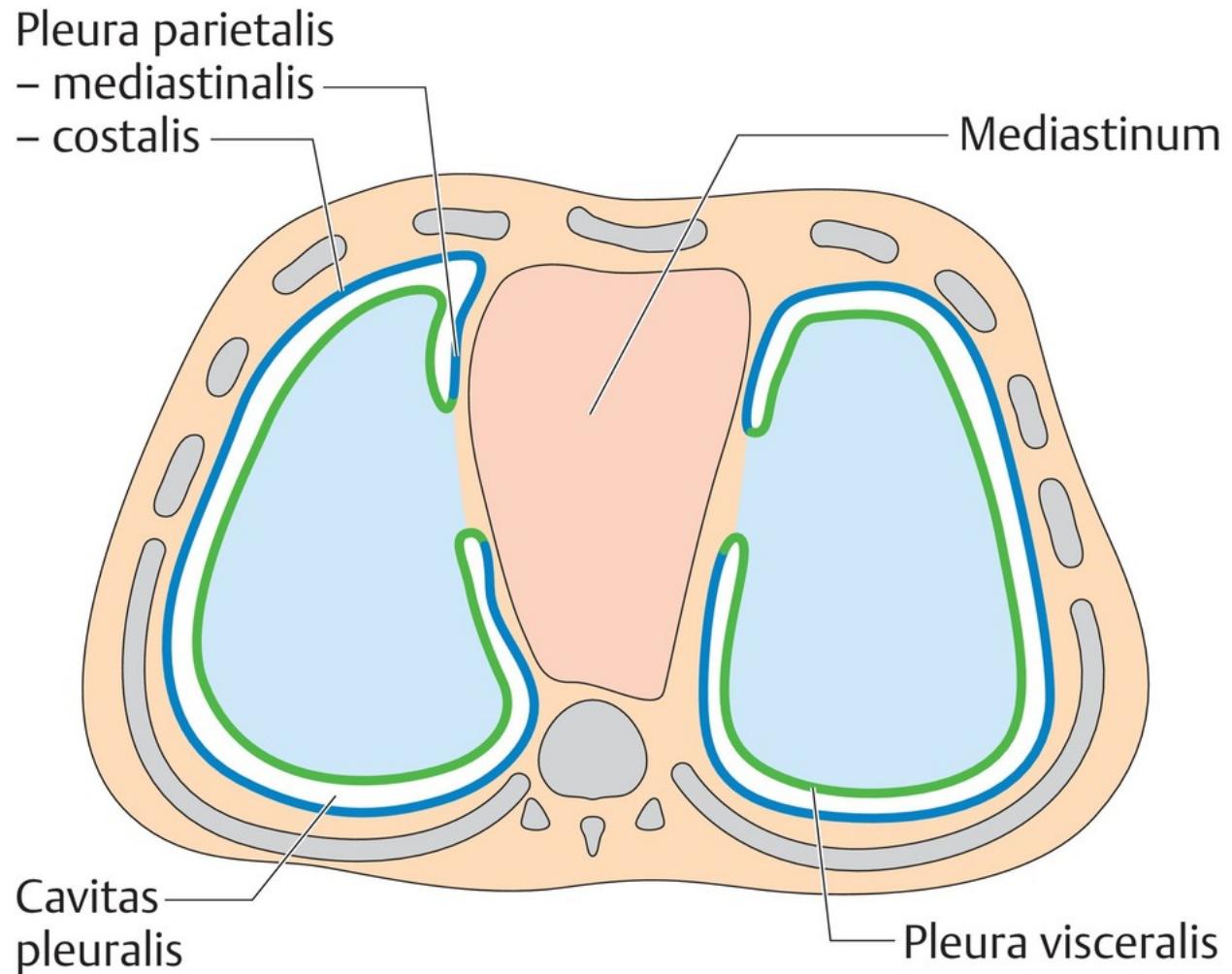
# Pleura

- Die Pleura schlägt sich am **Lungenhilum** aus viszeralem Blatt in parietales Blatt um
- Unterteilung der Abschnitte:
  - **Pars costalis**: Innenseite der Brustwand/ Rippen
  - **Pars diaphragmatica**: auf dem Zwerchfell
  - **Pars mediastinalis**: lateral vom Mediastinum

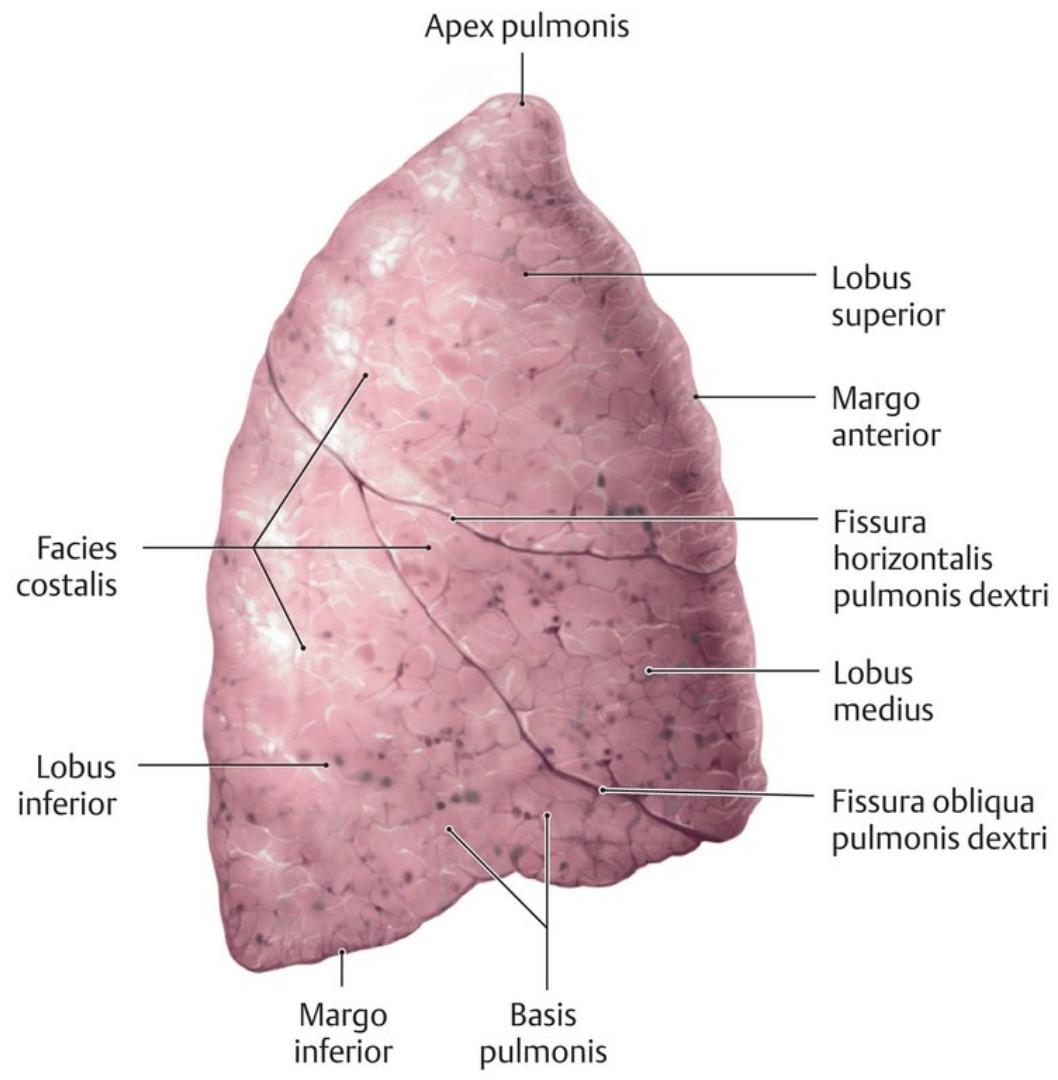
# Pleura



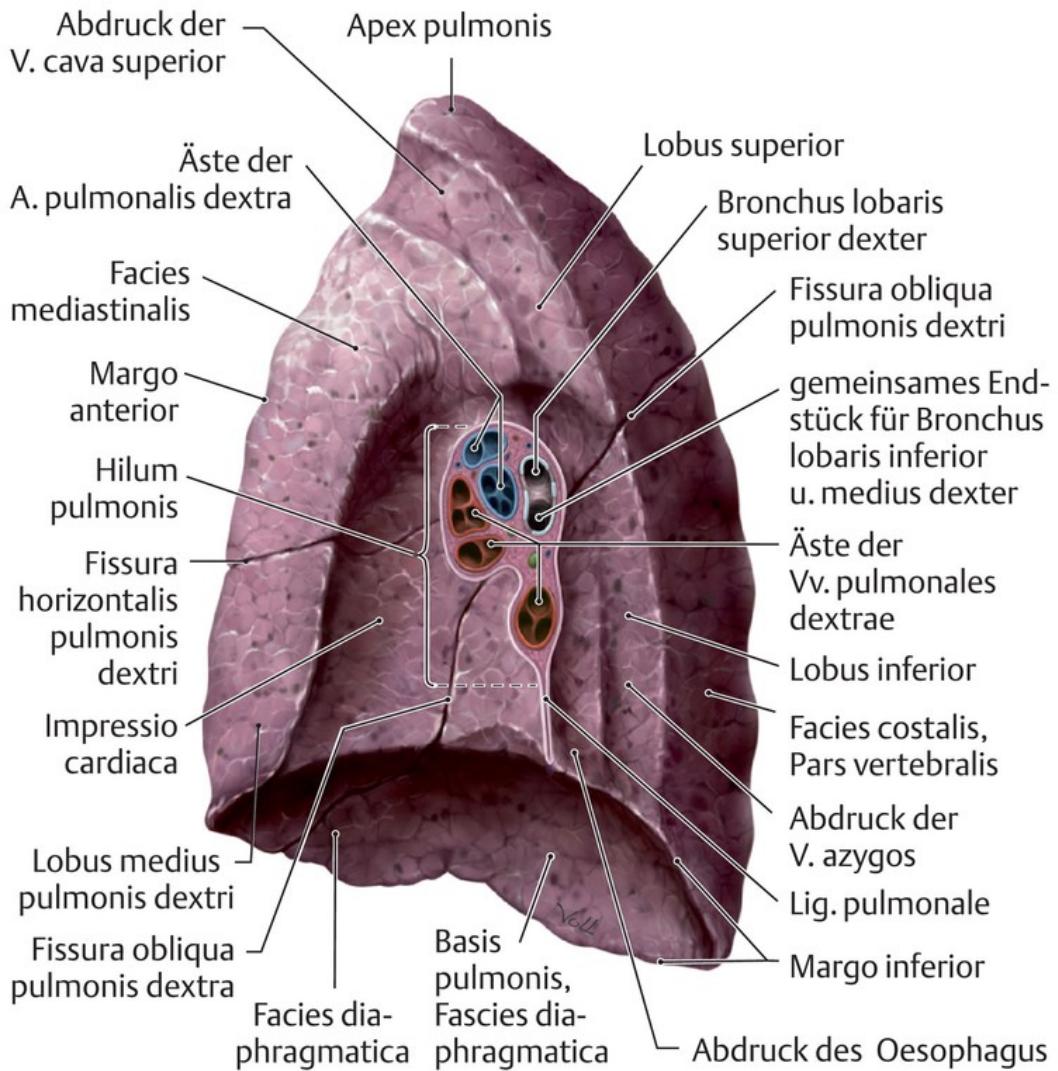
# Pleura



# Lunge (Pulmo)



# Lunge (Pulmo)



# Lunge (Pulmo)

- Form und Abschnitte:
- **Facies diaphragmatica:**
  - Konkaver Teil der Lunge, sitzt der Zwerchfellkuppel auf
- **Facies costalis:**
  - Der den Rippen zugewandte Teil der Lunge
- **Facies mediastinalis:**
  - Ist zum Mediastinum nach innen gerichtet
  - Hier liegt das Lungenhilum (**Hilum pulmonis**)
  - Alle ein- und austretenden Strukturen werden als Lungenwurzel bezeichnet (**Radix pulmonis**)
  - Umschlag der viszeralen Pleura

# Lunge (Pulmo)

- Lungengewebe lässt sich Einteilen:
  - **Lungenlappen** (Lobi pulmones)
  - **Lungensegmente** (Segmenta bronchopulmonalia)
  - **Lungenläppchen** (Lobuli pulmonales)
  - **Azini**
- Jedem dieser Gewebe lassen sich dazugehörige Bronchialstrukturen zuordnen

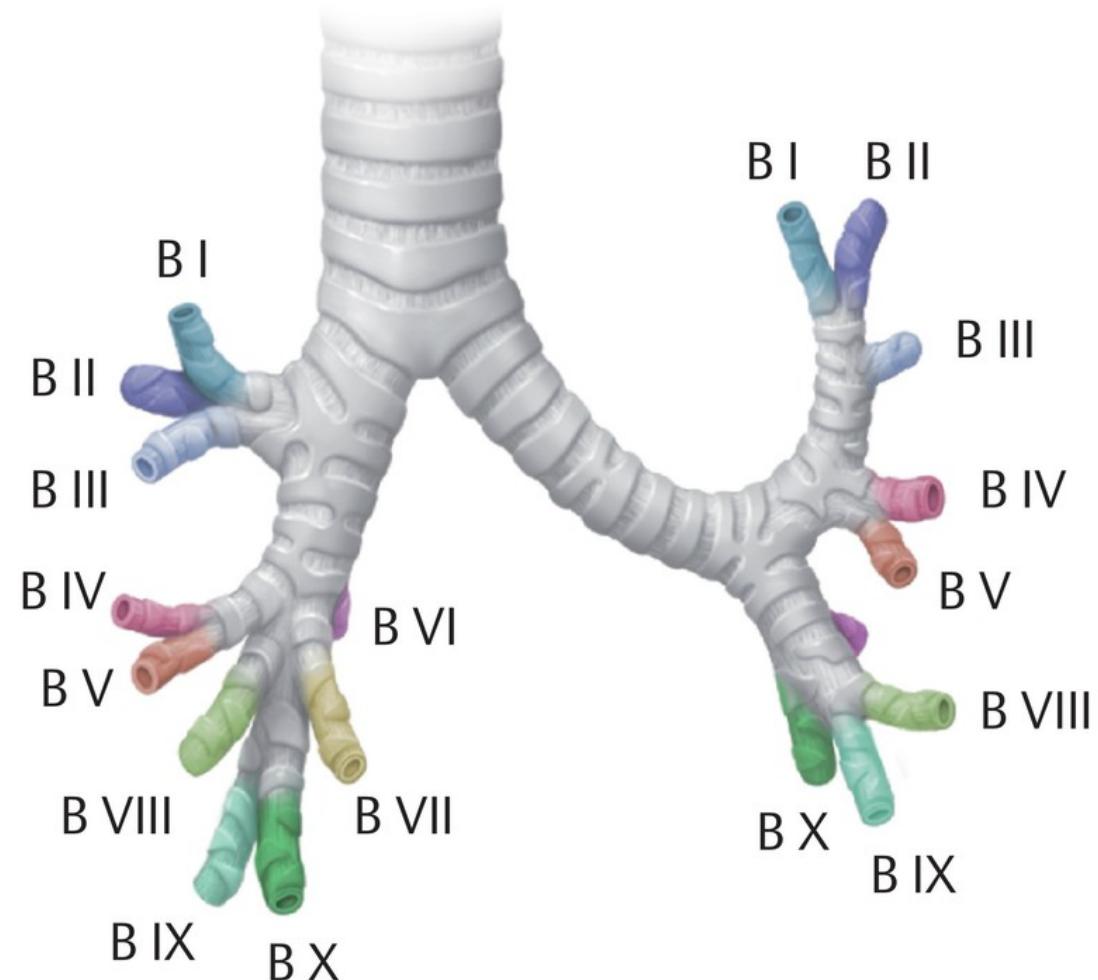
# Lungenlappen (Lobi pulmones)

- Sind die größten Bauteile der Lunge
- Die rechte Lunge besitzt **drei** Lungenlappen
  - **Oberlappen** (Lobus superior pulmonis dextri)
  - **Mittellappen** (Lobus medius pulmonis dextri)
  - **Unterlappen** (Lobus inferior pulmonis dextri)
- Die linke Lunge besitzt **zwei** Lungenlappen
  - **Oberlappen** (Lobus superior pulmonis sinistri)
  - **Unterlappen** (Lobus inferior pulmonis sinistri)
- Die Unterschiede lassen sich mit der **linksseitigen Lage des Herzens begründen**
- Alle Lobi sind voneinander getrennt (Fissurae interlobares), dient als Gleitspalt während der Atemexkursionen

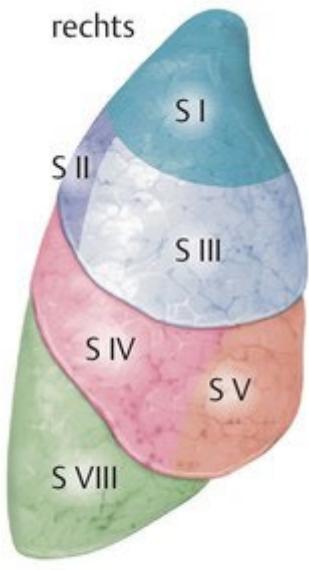
# Lungensegmente (Segmenta bronchopulmonalia)

- Lungensegmente bilden die nächste funktionelle Einheit
- In jedes Segment tritt ein **Segmentbronchus** und eine **Segmentarterie** ein (**bronchoarterielles Segment**)
- Die Segmente sind durch Bindegewebe von einander abgegrenzt
- Die **rechte** Lunge besitzt i.d.R. **10 Segmente**
- Die **linke** Lunge besitzt i.d.R. **9 Segmente**

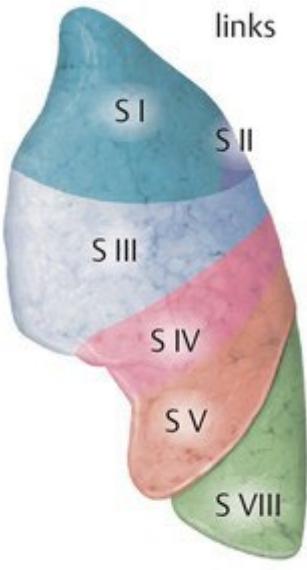
# Segmentbronchien



# Lungensegmente



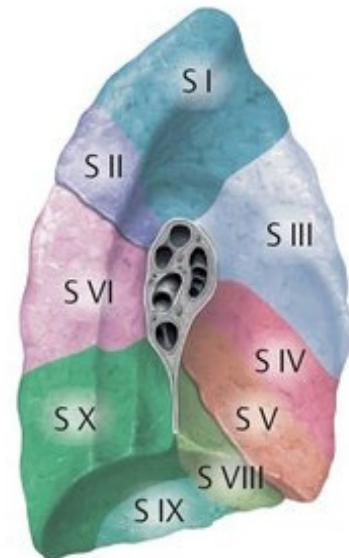
I Pulmo dexter



Pulmo sinister



IVa Pulmo dexter

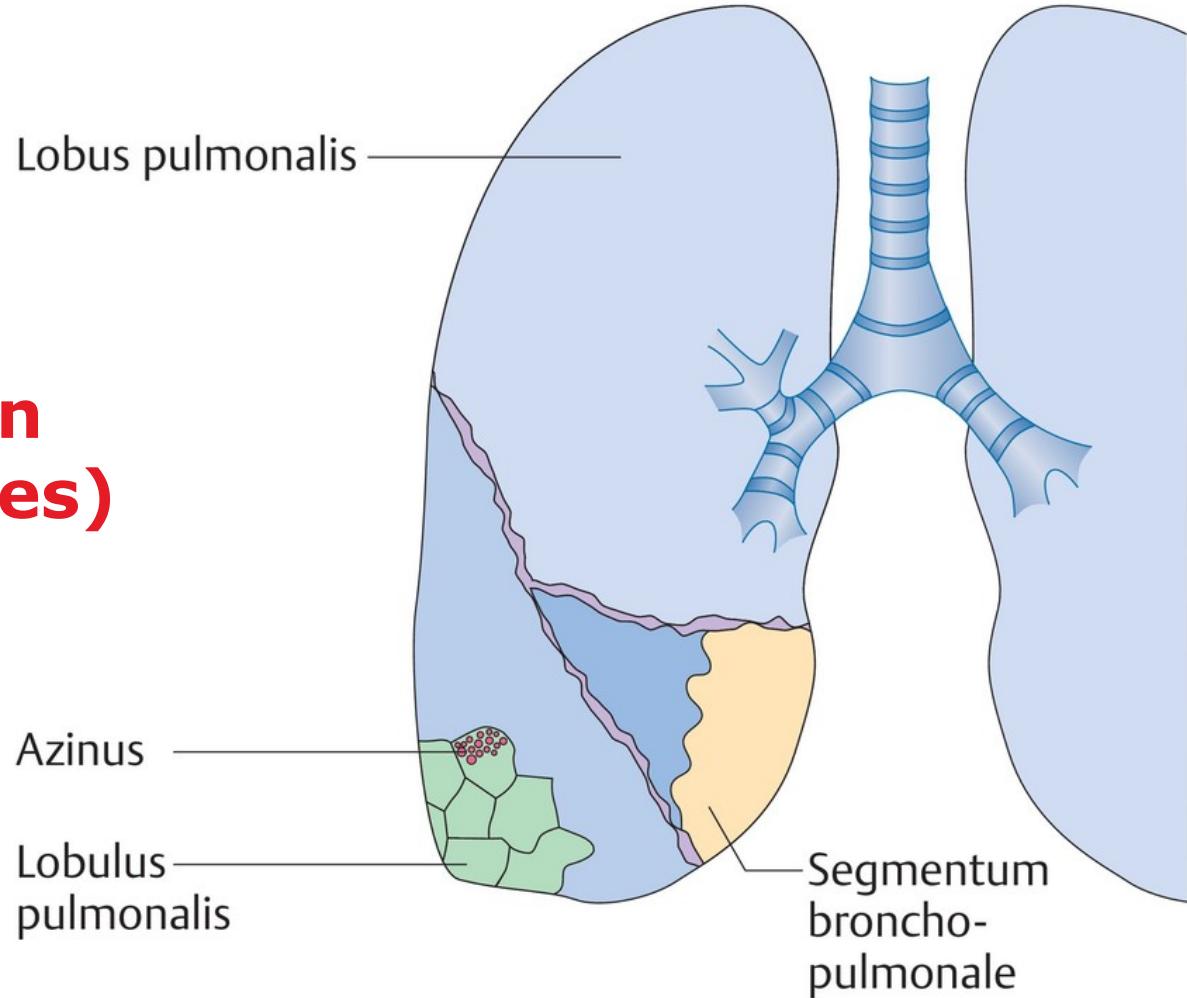


IVb Pulmo sinister

# Lungenläppchen (Lobuli pulmones)

- Jedes Lungenläppchen entspricht dem **Versorgungsgebiet** eines **Bronchiolus lobularis** (Erste Generation von Bronchioli)
- Alle abzweigenden Teile des Bronchiolus lobularis und A. pulmonalis befinden sich in einem Lungenläppchen

# Lungenläppchen (Lobuli pulmones)



# Lungenazini

- Entspricht dem Versorgungsgebiet eines **Bronchiolus terminalis**
- I.d.R. 12-18 Azini pro Läppchen
- Sind im Läppchen um den zentralen Bronchiolus lobularia angeordnet

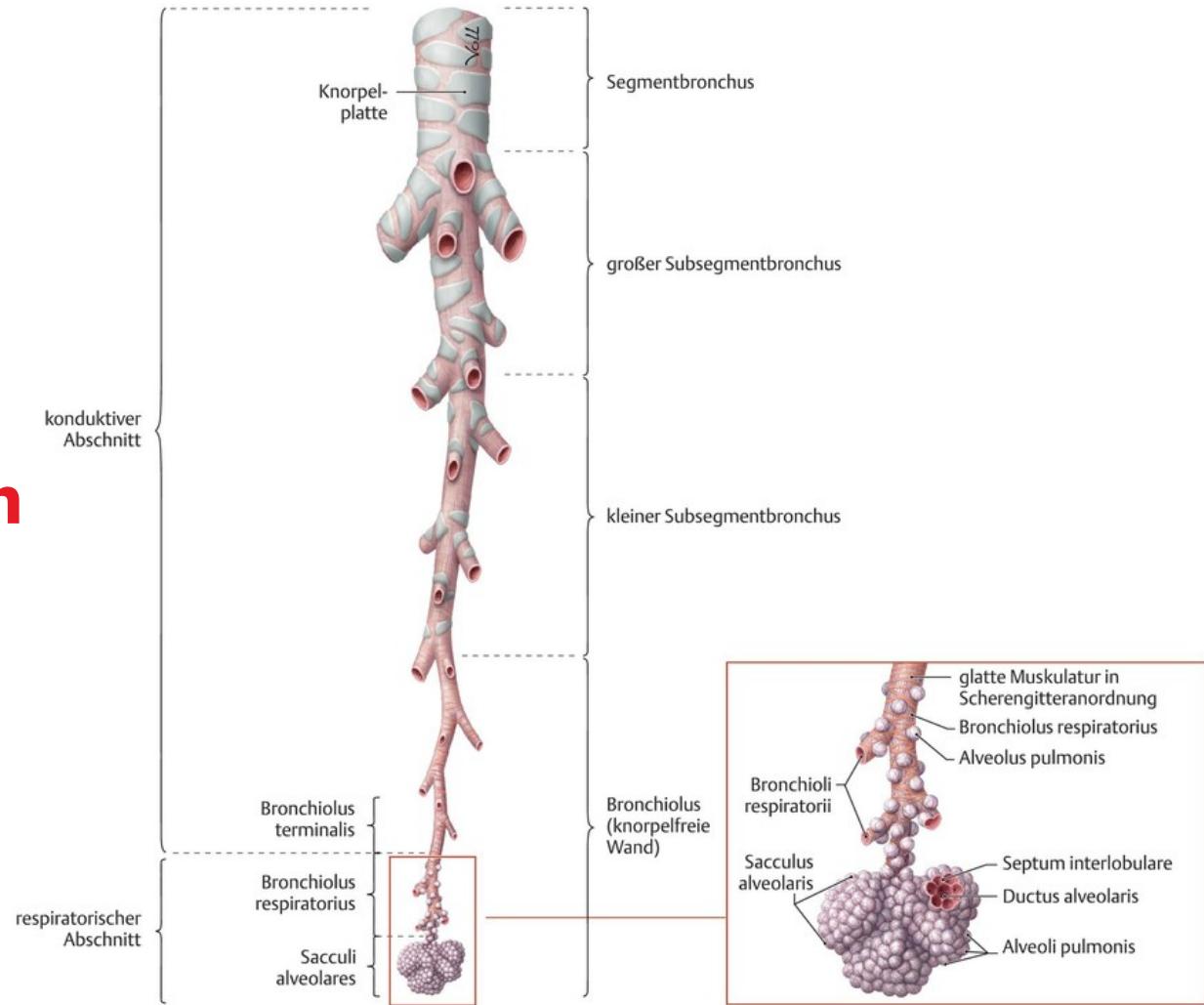
# Konduktiver Abschnitt

- **Luftleitende** Abschnitte des Bronchialsystems
- Transportiert Luft zu und ab
- Ist selbst **nicht** am Gasaustausch beteiligt
- Macht den **Totraum** des Atemzugvolumens aus (150-170ml)

# Respiratorischer Abschnitt

- Anteile am distalen Ende des Bronchialbaums
- Sind am **Gasaustausch** beteiligt
- Anatomische Abschnitte:
- **Bronchioli respiratorii:**
  - Verzweigungen der Bronchioli terminales, vereinzelte Alveolen an der Wand
- **Ductus alveolaris:**
  - Folgen auf die Bronchioli respiratorii
  - Wände sind fast gänzlich mit Alveolen und Alveolargruppen bedeckt
- **Alveolen:**
  - Wichtigster Teil des Gasaustausches, insgesamt ca. 300-400 Millionen

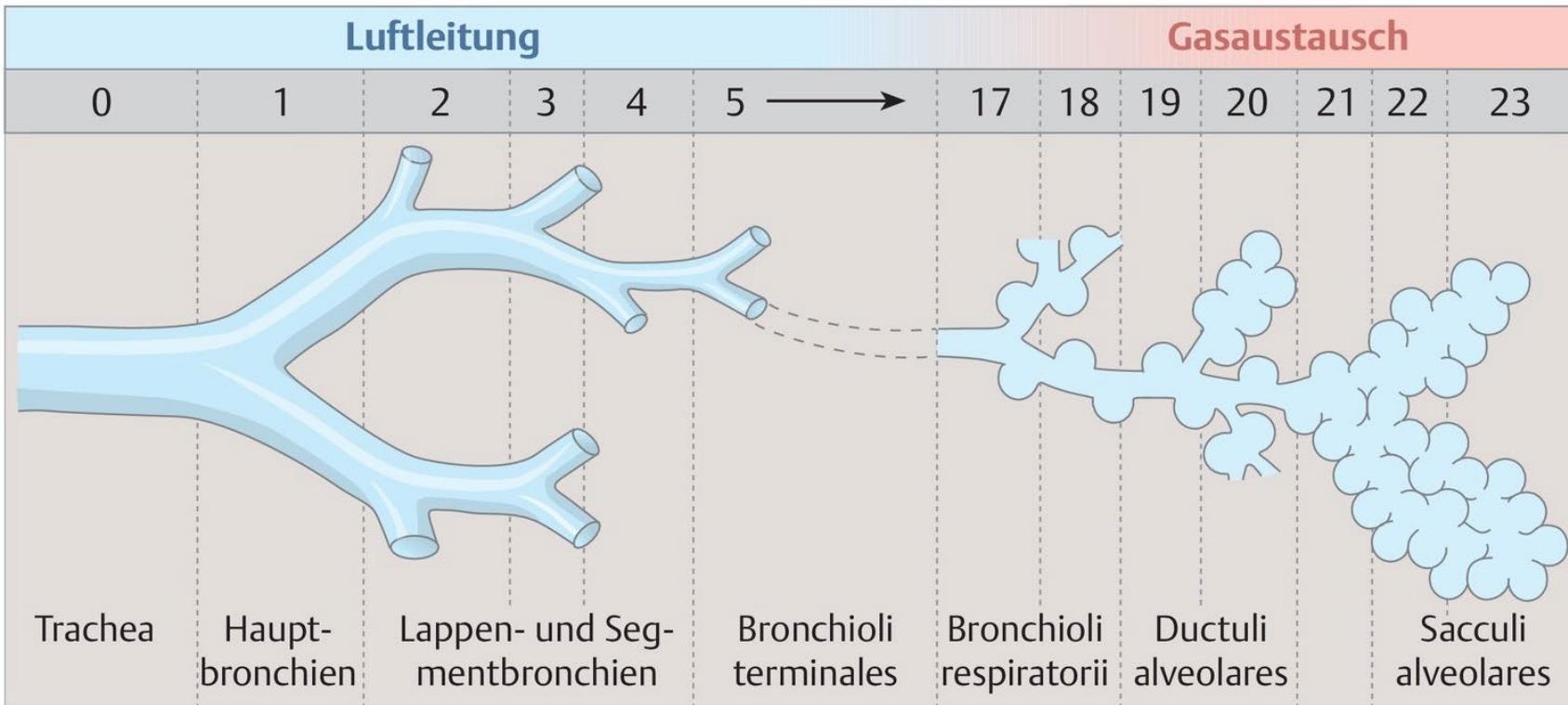
# Bronchialbaum



# Abschnitte des Bronchialbaums

Gewebe/ Strukturen	Lappen- und Segmentbronchien	Bronchioli	Bronchioli terminales	Bronchioli respiratorii	Ductus alveolares
Epithel	Flimmerepithel mit vielen Kinozilien		teilweise kinozilienfrei	keine Kinozilien	
	mehrreihig*	zweireihig, zylindrisch**	einschichtig, kubisch**	einschichtig, kubisch**	einschichtig, platt***
<b>Drüsen</b>					
▶ intraepithelial (Becherzellen)	+	+	-	-	-
▶ subepithelial (Gll. bronchiales)	+	-	-	-	-
<b>Bindegewebe</b>	Tunica fibrocartilaginea	viele elastische Fasern in Lamina propria und peribronchialem Bindegewebe			elastische Fasern um Ductus alveolaris
<b>Muskulatur</b>	kontinuierliche Tunica muscularis	relativ kräftige Tunica muscularis		Tunica muscularis dünnt sich aus	Basalringe
<b>Knorpel</b>	Knorpelplättchen	-	-	-	-

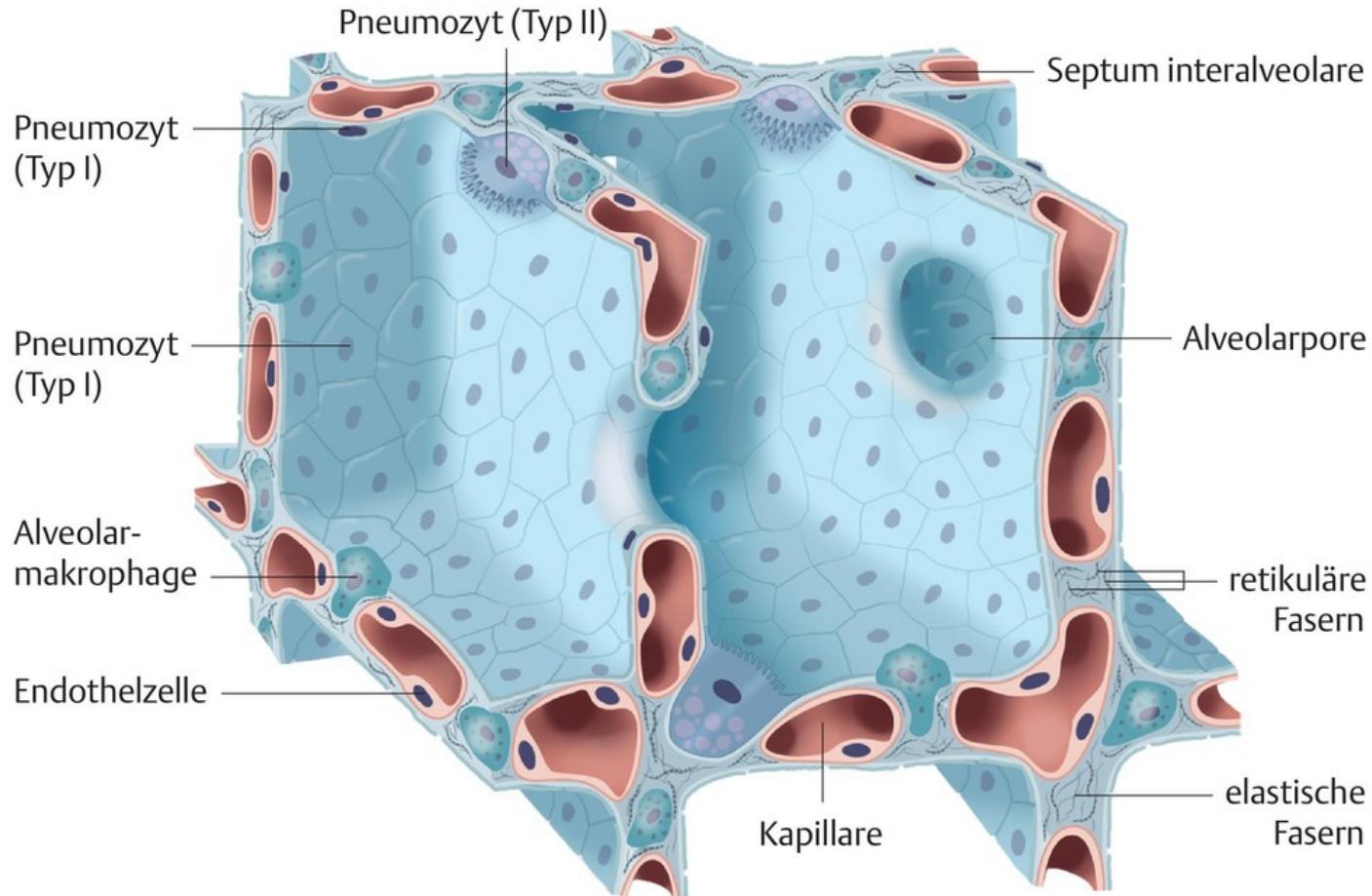
# Abschnitte des Bronchialbaums



# Alveolen

- Wabenartige Ausstülpungen des Bronchialbaums
- Sehr dünne Wand, die **Gasaustausch** ermöglicht
- Alveolen stehen über Alveolarporen in Kontakt
- Wand besteht aus zwei Zelltypen (**Pneumozyten**):
  - **Pneumozyt Typ I**
    - Machen ca. 90% der Alveolarwand aus
  - **Pneumozyt Typ II**
    - Bedecken ca. 7% der Alveolaroberfläche
    - Geben Surfactant in den Alveolarraum ab

# Alveolen



# Surfactant

- Steht für **Surface active agent**
- Ist eine oberflächenaktive Substanz aus Phospholipiden und Surfactantproteinen
- **Reduziert die Oberflächenspannung** in der Alveole
- Ohne Surfactant würden die Alveolen kollabieren (Atelektase)

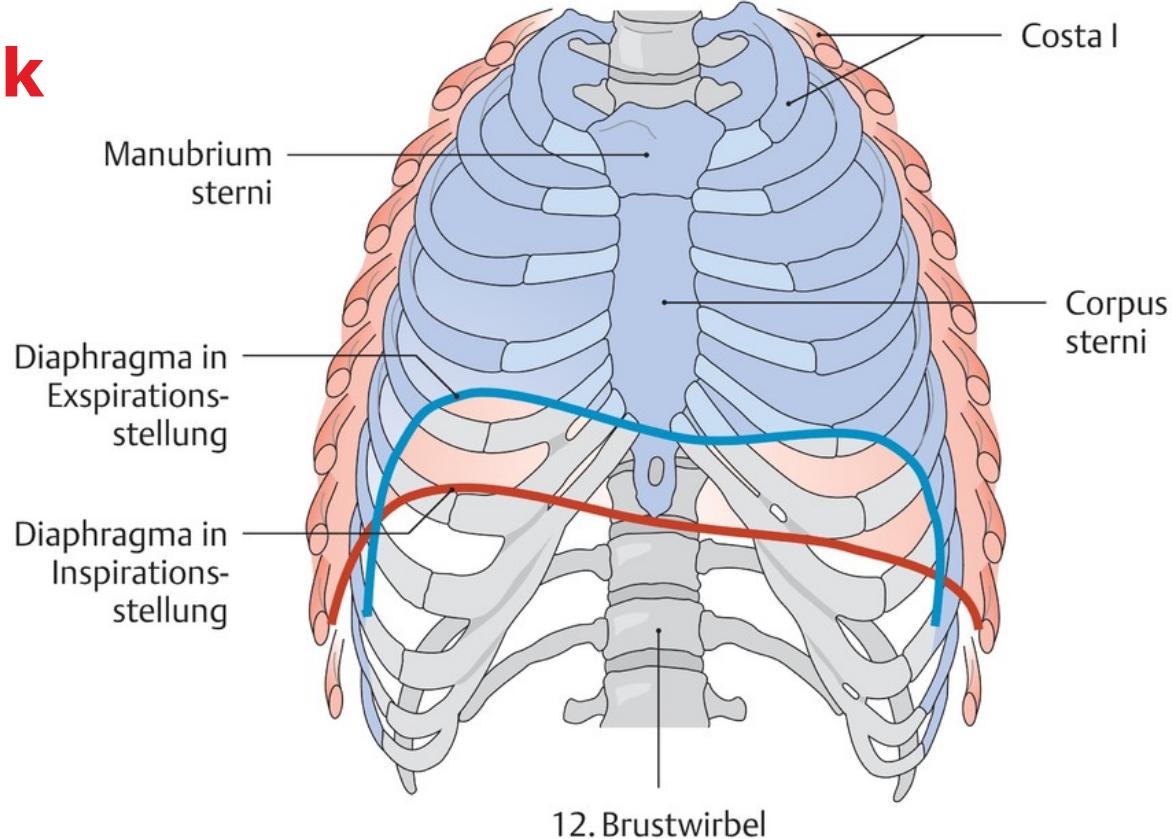
# Atemmechanik

- Damit Luft in die Lunge strömt (**Inspiration**), braucht es einen sog. **Strömungsdruck**
- Dieser wird durch die **indirekte** Bewegung der Lunge erreicht
- An der indirekten Bewegung der Inspiration sind beteiligt:
  - Diaphragma (Zwerchfell)
  - Mm. intercostales externi
  - Mm. serrati posteriores und inferiores

# Atemmechanik

- Die **Exspiration** erfolgt **passiv** durch Relaxation der Atemmuskulatur
- Bei starker Ausatmung der sog. **forcierten Exspiration** kommt ebenfalls Muskulatur zu Hilfe:
  - Mm. intercostales interni
  - M. transversus thoracis
  - M. subcolstalis

# Atemmechanik



# Compliance

- Beschreibt die **Dehnbarkeit** der Lunge und der Thoraxwand
- Compliance der **Lunge**:
  - Bedingung ist der Surfactant
  - Wird bei zunehmender Füllung weniger
- Compliance der **Thoraxwand**:
  - Ist der Thorax in Ruhestellung ist die Compliance am höchsten
  - Wird durch Diaphragma und thorakale Muskulatur beeinflusst

# Atemruhelage

- Bei Atemruhelage gleichen sich die Retraktionskräfte des Thorax und der Lunge aus
- Die Lunge ist bestrebt ein kleineres Volumen anzunehmen
- Der Thorax ist bestrebt sich auszudehnen
- Bei exakt gleichem Druck gleichen sich die Kräfte aus und es entsteht ein **negativer intrapleuraler Druck** (-5cm H<sub>2</sub>O)

# Lungenvolumina und Kapazitäten

- **Lungenvolumina:** Einzelne Atemgrößen
- **Lungenkapazitäten:** Atemgrößen aus kombinierten Volumina

# Lungenvolumina

- **Atemzugvolumen (AZV)**: In Ruhe ca. 500ml
- **Atemminutenvolumen (AMV)**: AZVx60sek.
- **Inspiratorisches Reservevolumen (IRV)**: Das Volumen, das über die normale Inspiration maximal eingeatmet werden kann
- **Exspiratorisches Reservevolumen (ERV)**: Das Volumen, das über die normale Exspiration maximal ausgeatmet werden kann
- **Residualvolumen (RV)**: Das Volumen, das nach maximaler Exspiration in der Lunge verbleibt

# Lungenkapazitäten

- **Totalkapazität (TLC):** Das maximale Volumen der Lunge
- **Vitalkapazität (VC):** AZV+IRV+ERV
- **Funktionelle Residualkapazität (FRC):** Das Volumen, das sich nach normaler Exspiration noch in der Lunge befindet (ERV+RV)

# Totraum

- Als Totraum wird der konduktive Abschnitt des Bronchialbaums bezeichnet
- Hier findet **kein** Gasaustausch statt
- Es nimmt also nicht das gesamte AZV am Gasaustausch teil
- Typisches Totraumvolumen ist bei 500ml AZV ca. 150ml
- Man unterscheidet also:
  - Totraumventilation
  - Alveolarventilation

# Gasaustausch

- Damit der Gasaustausch in der Lunge ablaufen kann muss eine Diffusion der Gase stattfinden
- Als Grundlage gilt hierfür das Fick'sche Diffusionsgesetz:

$$V_{\text{Gas}} = (p_1 - p_2) \cdot \frac{A}{d} \cdot D$$

- $V_{\text{Gas}}$ : Transportierte Stoffmenge
- $p_1$ : Gaspartialdruck im Alveolarraum
- $p_2$ : Gaspartialdruck im Kapillarraum
- A: Diffusionsfläche
- d: Membrandicke/ Diffusionsstrecke
- D: Spezifischer Diffusionskoeffizient (Löslichkeit etc.)

# Gasaustausch

- Es kommt zu einer Angleichung der Partialdrücke
- Die wichtigsten Gase sind hierbei O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>
- Größen des Partialdruckes sind speziell in der Lunge anhängig von:
  - **Ventilation** (Luftzufuhr)
  - **Perfusion** (Durchblutung)

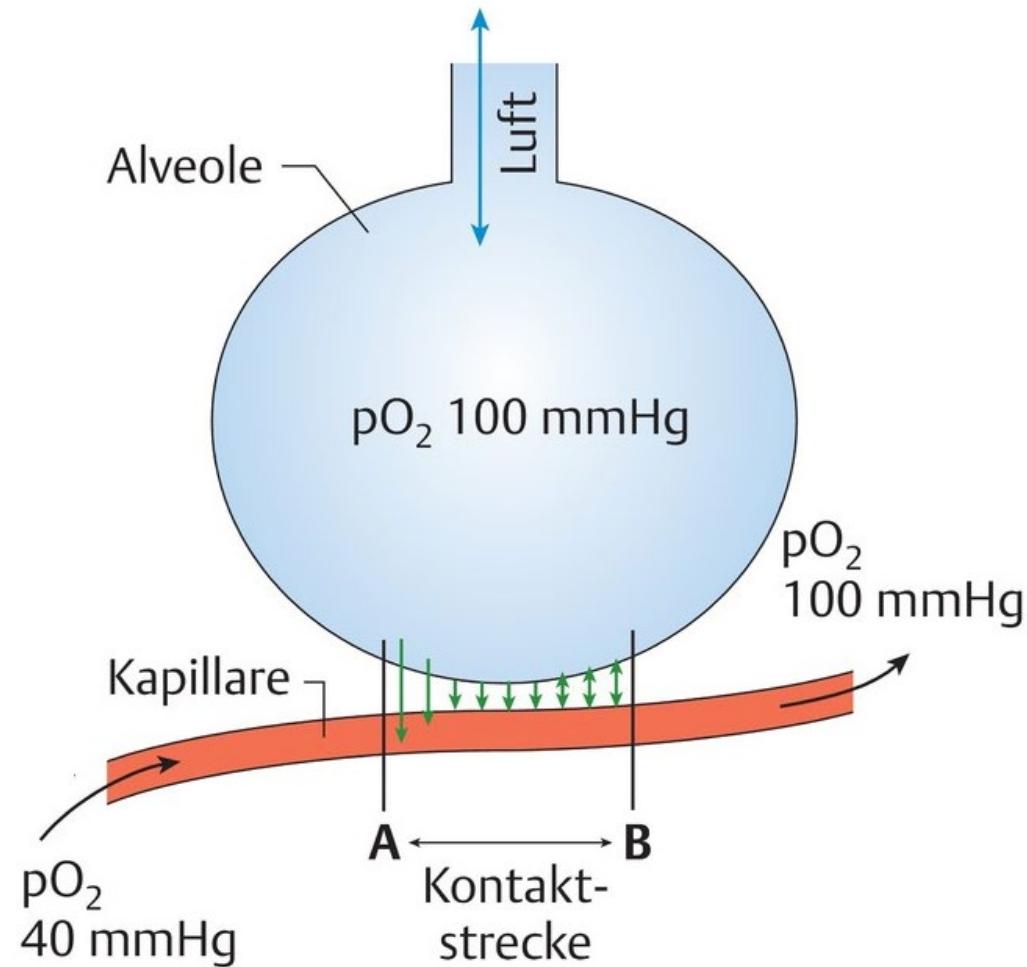
# O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> Partialdrücke

Lokalisation	O2-Partialdruck	CO <sub>2</sub> -Partialdruck
Umgebungsluft	158,8mmHg	0,3mmHg
Obere Atemwege	149mmHg	0,3mmHg
Alveolen	100mmHg	40mmHg
Arteria pulmonalis	40mmHg	46mmHg
Vena pulmonalis	90mmHg	40mmHg

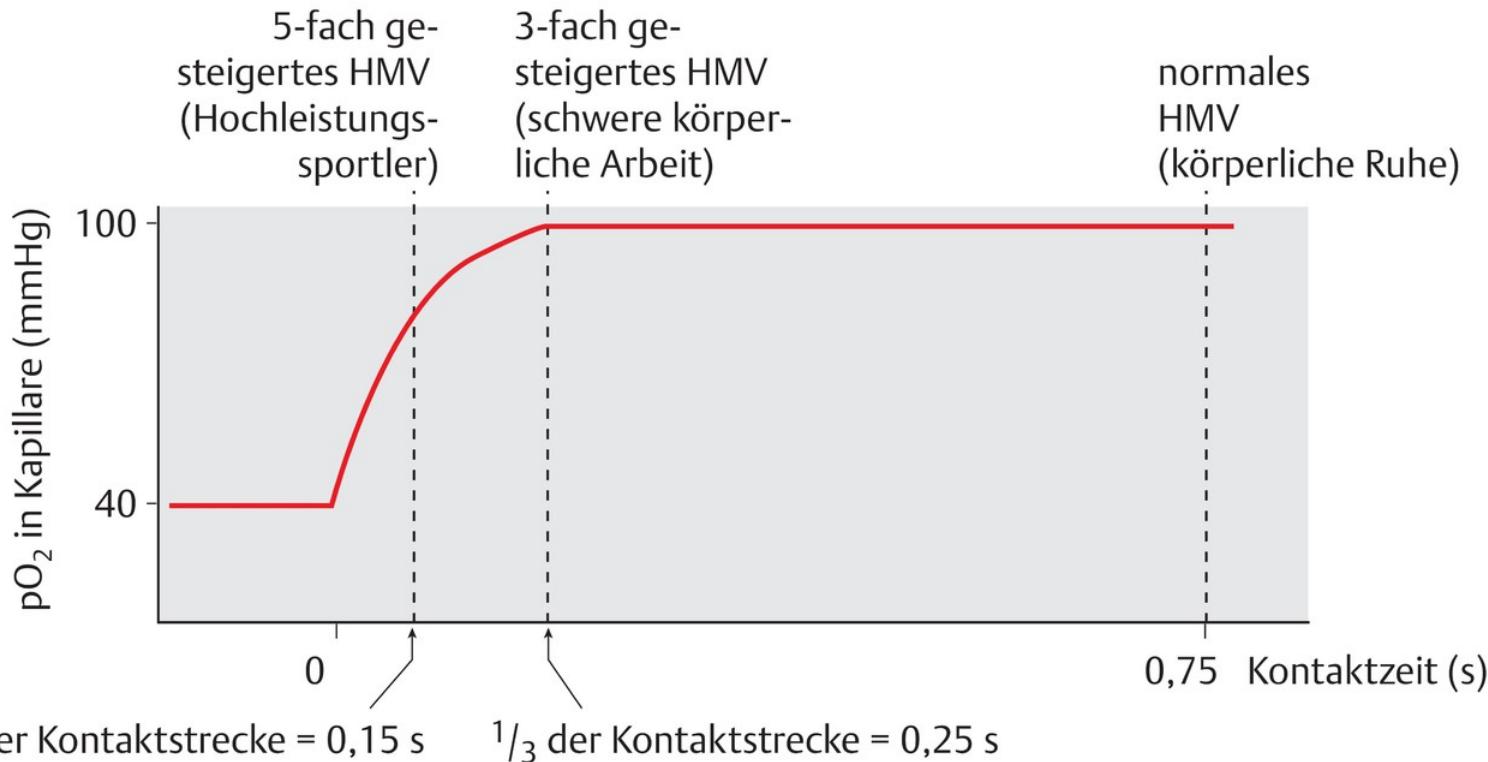
# Gasaustausch

- Der Gasaustausch findet an der sog. **Kontaktstrecke** eines Kapillargefäßes und der anliegenden Alveolen statt
- Der Austausch erfolgt i.d.R. nach einem Drittel der Strecke

# Gasaustausch



# Gastaustausch und HMV



# Hypoxische Vasokonstriktion

- Fällt der  $pO_2$  im Alveolarraum ab, kommt es in den hinführenden Gefäßen zu einer Vasokonstriktion
- Das bedeutet, dass die Lunge ihre Perfusion an die mit  $O_2$  versorgten Gebiete anpasst
- Dies wird als **Euler-Liljestrand-Mechanismus** bezeichnet

# Hypoxische Vasokonstriktion

- An der Gefäßmuskulatur der zuführenden Gefäße befinden sich **O<sub>2</sub>-sensitive K<sup>+</sup>-Kanäle**
- Die K<sup>+</sup>-Kanäle sind bei normalem pO<sub>2</sub> **geöffnet**
- Sinkt nun der pO<sub>2</sub> verschließen sich die Kanäle und depolarisieren die Muskelzellen
- Als Folge öffnen sich spannungsgesteuerte **Ca<sup>2+</sup>-Kanäle**
- Dadurch kommt es zu erhöhtem Ca<sup>2+</sup>-Einstrom und damit zu erhöhtem Muskeltonus

# Sauerstofftransport

- Da der Sauerstoff in gelöster Form nicht ausreichen würde, wird dient das **Hämoglobin** als Transportmedium
- Die Bindung von Sauerstoff an das Hämoglobin wird mit der **Sauerstoffbindungskurve** beschrieben
- Die Form dieser Kurve leitet sich von verschiedenen Eigenschaften des Hämoglobins ab

# Hämoglobin

- Hämoglobin untergliedert sich in vier **Hämgruppen** und einer **Globineinheit**
- $O_2$  bindet sich an je ein **Fe<sup>2+</sup>** an den Hämgruppen
- Jede Hämgruppe ist außerdem über das Fe<sup>2+</sup> mit dem Globin verbunden
- Das Globin selbst kann **kein**  $O_2$  binden, beeinflusst diese aber erheblich

# Hämoglobin

- Funktionen des Globin:
  - Verhindert die Oxidation benachbarter Hämgruppen (**Autoxidation**)
  - **Verminderung** der Affinität zu CO, NO und H<sub>2</sub>S
  - Bedingt den typischen **sigmoidalen** Verlauf der Bindungskurve
  - Erlaubt **Regulation** der O<sub>2</sub>-Bindung durch externe Faktoren

# Verhinderung der Autoxidation

- Einzelne Hämgruppen können  $O_2$  nicht reversibel binden
- Kommen sich zwei Hämgruppen zu nahe bildet sich zwischen ihnen eine **Fe-O<sub>2</sub>-Fe-Brücke**
- In diesem Fall oxidiert das **Fe<sup>2+</sup>** irreversibel zu **Fe<sup>3+</sup>**
- Das Globin **verhindert** diese räumliche Annäherung der Hämgruppen

## Verminderung der Affinität

- Ohne Globin weisen Hämgruppen eine deutlich höhere Affinität insbesondere zu CO, NO und H<sub>2</sub>S auf
- Durch die Einlagerung in Globin werden diese Affinitäten verhindert
- Beispiel CO:
  - Ohne Globin wäre die Affinität von CO zu einer Hämgruppe ca **25000** mal höher als O<sub>2</sub>
  - Mit Globin sind es lediglich **300** mal

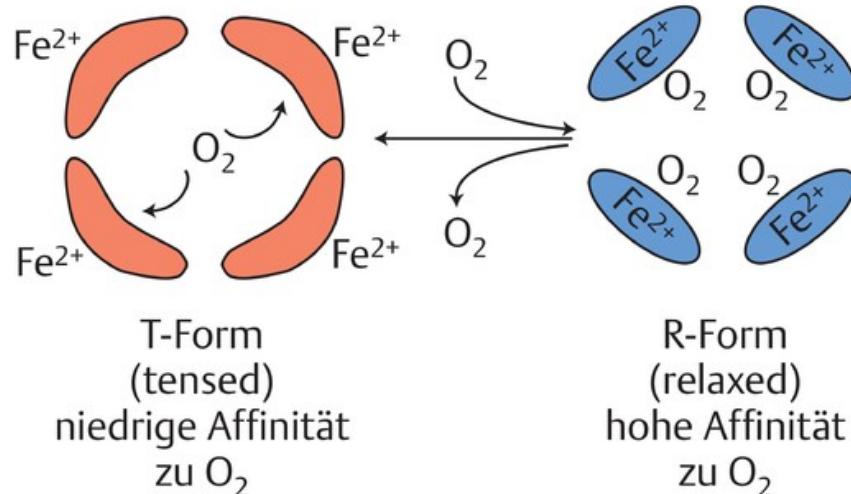
# Beeinflussung der Bindungskurve

- Grundlegend dafür ist der Perutz-Mechanismus:
  - Bindet ein Hämoglobin an ein O<sub>2</sub> steigt die Affinität der restlichen Hämgruppen zu O<sub>2</sub>
- Dafür verantwortlich ist die **räumlich-mechanische Interaktion** von Hämgruppen und Globin
- Bildet sich eine Fe-O<sub>2</sub>-Fe-Brücke ändert sich die räumliche Struktur des Globins und **zieht** die Fe<sup>2+</sup>-Atome in die Hämebene
- Dadurch **erhöht** sich die Affinität zu O<sub>2</sub> enorm

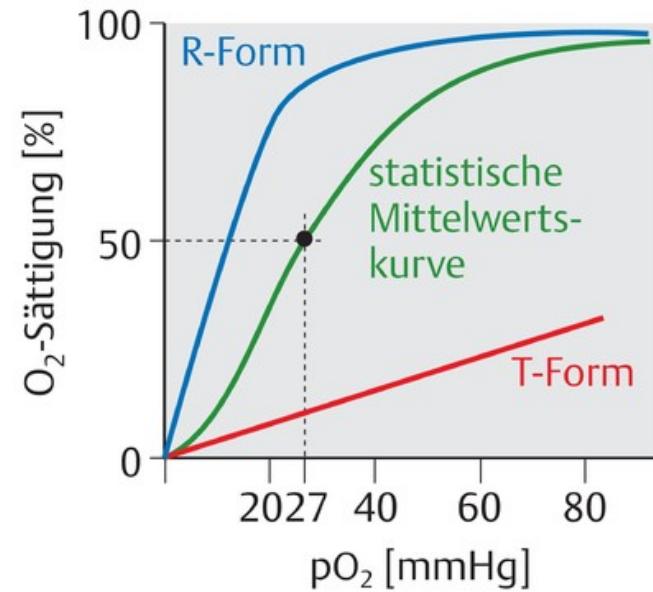
# Beeinflussung der Bindungskurve

- Befindet sich kein  $O_2$  an einer Hämgruppe, befinden sich die Hämgruppen räumlich in einer **gestreckten**, wenig reagiblen Formation: **T-Form** (**Tension**: Spannung)
- Nach der  $O_2$ -Bindung ändert sich die Formation in eine „entspannte“, reagible Form: **R-Form** (**Relaxed**: entspannt)

# Beeinflussung der Bindungskurve



a Konformationszustände  
des Hämoglobins.



b Sauerstoffbindungskurve  
des Hämoglobins.

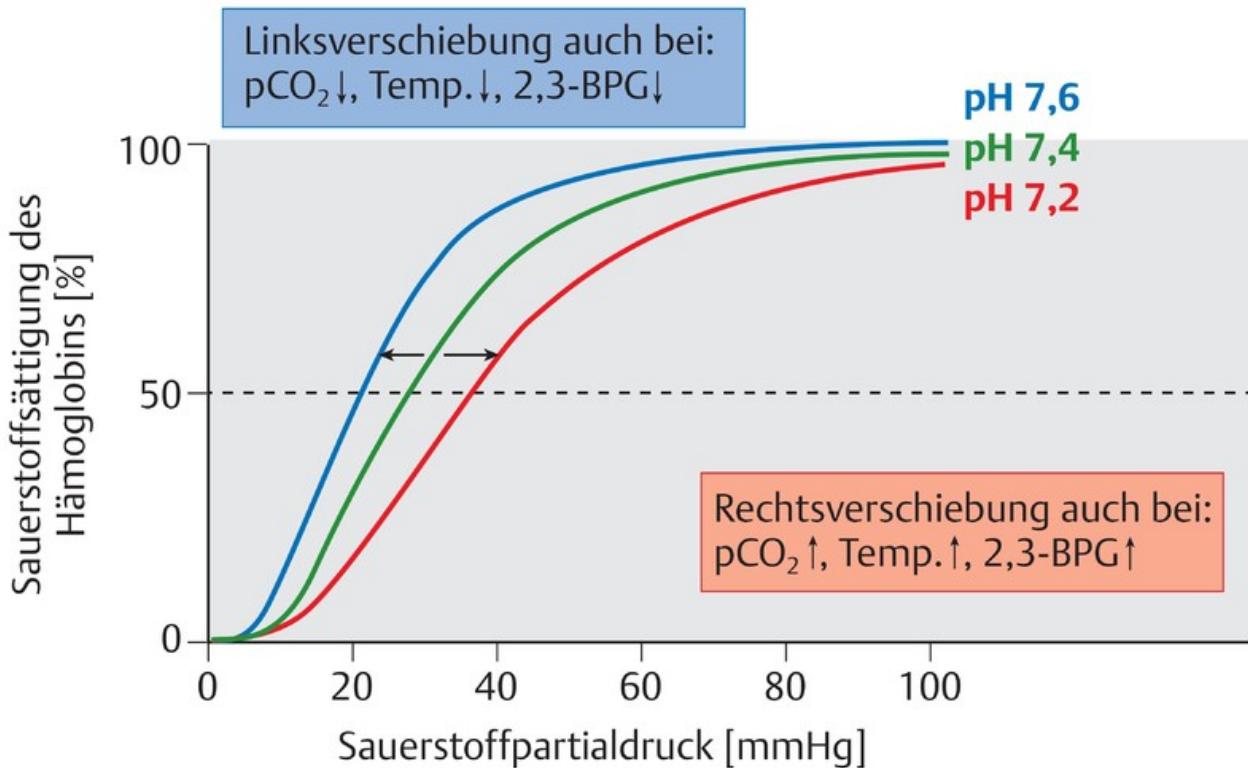
# Beeinflussung durch externe Faktoren

- Externe Faktoren können entweder die T- oder R-Form des Hämoglobins beeinflussen:
- Stabilisierung der T-Form
  - Verschiebung der Kurve nach rechts
- Stabilisierung der R-Form
  - Verschiebung der Kurve nach links

# Beeinflussung durch externe Faktoren

- Für eine Stabilisierung der T-Form sorgen:
  - Erhöhung der H<sup>+</sup>-Konzentration
  - Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration (Carbaminobindung)
  - Temperaturanstieg
  - (Erhöhung der Konzentration von 2,3-Bisphosphoglycerat)
- Eine Linksverschiebung tritt bei den Gegenteilen dieser Faktoren auf

# Beeinflussung durch externe Faktoren



# Bohr-Effekt

- Der Bohr-Effekt beschreibt die sinkende O<sub>2</sub>-Affinität bei steigender CO<sub>2</sub> und H<sup>+</sup>-Konzentration in der kapillären Umgebung
- Besonders **metabolisch aktive** Gewebe weisen eine hohe Konzentration auf
- Somit wird dort die Bindungskurve nach rechts verschoben
- **Schlussfolgerung:** Je metabolisch aktiver ein Gewebe ist, desto leichter kann sich das O<sub>2</sub> aus dem Hämoglobin freigesetzt werden

# Exkurs: Methämoglobin

- Tauscht man verschiedene Aminosäuren im Hämoglobin kann sich trotz der Globinfunktionen  $\text{Fe}^{3+}$  bilden
- **Methämoglobin** kann auch infolge einer Intoxikation entstehen: besonders bei Nitraten
- Physiologisch wird Methämoglobin durch das Enzym **Methämoglobinreduktase** wieder in Hämoglobin gewandelt
- **CAVE:** Säuglinge haben eine sehr niedrige Aktivität dieses Enzyms; es besteht also eine besonders hohe Gefahr im Zusammenhang mit Nitraten



**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!**