



# Pathophysiologie Lunge

# Pathophysiologie

## Allgemeine Begriffe

Hypoxie	Unterversorgung von Zellen mit Sauerstoff
Hypoxämie	Sauerstoffmangel im Blut
Anoxie	Vollständige Fehlen von Sauerstoff
Hypoxygenation	Abnahme der Sauerstoffsättigung im Blut

## Pathophysiologie

### Hypoxämieformen

CaO<sub>2</sub> = der Sauerstoffgehaltes des Blutes

Berechnet aus: Gesamthämoglobin und der Sauerstoffsättigung

Formel:

$$(\text{Hb} \times \text{SaO}_2 \times 1,36) + (\text{paO}_2 \times 0,003)$$

Norm: 18 ml/dl

Erklärung:

1,36 (auch 1,34) = Hüfner Zahl, Konstante, welche besagt, dass 1g Hämoglobin 1,36 ml Sauerstoff maximal binden kann

Der Partialdruck wird nur zu einem sehr geringen Teil mit einberechnet und kann somit auch vernachlässigt werden

# Pathophysiologie

## Hypoxämieformen

1. Hypoxische Hypoxämie:  
Hämoglobin Wert ist normal (12-18mg/dl)  
Sauerstoffsättigung sinkt

Häufigste Form:

- Große Höhen → wenig Sauerstoff in der Atemluft
- Unzureichende Lungenbelüftung (Ventilationsstörung)
- Unzureichende Durchblutung (Perfusionsstörung)
- Gestörter Gasaustausch (Diffusionsstörung)

Bsp.: Asthma, COPD, Pneumonie, Lungenfibrose, Störungen des Atemantriebs (Alkohol, Narkosemittel)

# Pathophysiologie

## Hypoxämieformen

1. Hypoxische Hypoxämie:

### **Pulmonaler Rechts-Links- Shunt**

Mischung aus sauerstoffreichen Blut und Sauerstoffarmen Blut  
Reduktion des Sauerstoffgehaltes

#### Funktioneller rechts links Shunt:

Lungenbläschen werden durchblutet aber nicht belüftet

#### Anatomischer rechts links Shunt:

Pathologische Querverbindung zwischen venösen und Arteriellen Blut  
Sauerstoffarmes Blut fließt nicht zu den Lungenbläschen sondern direkt in die Lungenvene

# Pathophysiologie

## Hypoxämieformen

### 2. Anämische Hypoxie

Sauerstoffkapazität des Blutes verringert  
Sauerstoffsättigung normal

Ursachen:

Mangel an Hämoglobin (Eisenmangel Anämie)

Mangel an roten Blutkörperchen (starker Blutverlust)

Gestörte Sauerstoffbindung an Hämoglobin (Sichelzell Anämie)

# Pathophysiologie

## Hypoxämieformen

### 3. Toxische Hypoxie

Verdrängung des Sauerstoffs → Abnahme der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins  
- Toxische Metabolite (CO)

Zytotoxische (Histotoxische) Hypoxie

Sauerstoffverwertung im Zellinneren beeinträchtigt.  
- Zyanid Vergiftung, bakterieller Giftstoff (Bakterientoxin)



# Pathophysiologie

## Hypoxämieformen

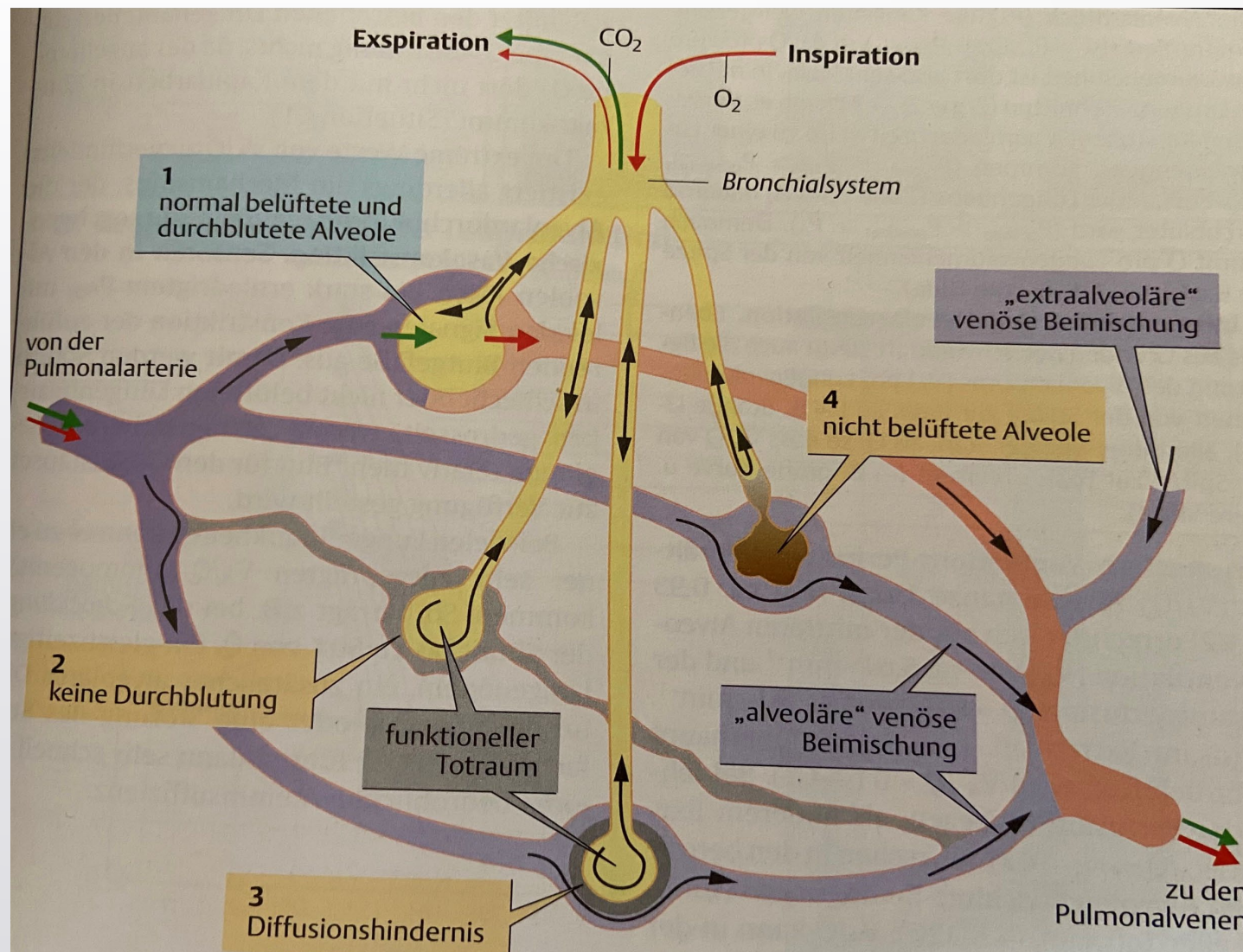
### **Behandlung Hypoxämie/Hypoxie**

- Sauerstoffgabe
- Evtl. NIV oder Invasive Beatmung
- Ursachen beheben



# Pathophysiologie

## Störungen des Gasaustausches in der Lunge



# Pathophysiologie

## Obstruktion

Verengung der Atemwege

- erschwerte Ausatmung
- Überblähung der Lunge

Beispiele:

COPD (chronisch *Obstruktive* Lungenerkrankung)

Asthma

Symptome:

Residualvolumen steigt (aufgrund der erschwerten Ausatmung)

„normales“ Ausatemvolumen wird weniger

# Pathophysiologie

## Obstruktion

Folgen:

durch Spasmen der Bronchialmuskulatur kommt es zu einer Schwellung der Bronchialschleimhaut:

- Erhöhte Sekretion von Schleim
- Zusätzlich erhöhter Strömungswiderstand in den Atemwegen
- Bronchospasmus
- Schlechtere Lungenbelüftung
- Höhere Gefahr von entzündlichen Reaktionen

# Pathophysiologie

## Obstruktion

Folgen:

Bei starken Obstruktionen ist die Ausatmung schwieriger als die Einatmung

Air Trapping

- Druckerhöhung in den Alveolen
- Unvollständige Ausatmung
- Schädigung der Alveolen
- Verringerung der Vitalkapazität

# Pathophysiologie

## Restriktion

Verlust der Flexibilität der Lunge

- Dehnbarkeit der Lunge nimmt ab
- reduziertes Einatemvolumen

Beispiele:

Lungenfibrose  
Pneumothorax

Symptome:

Vitalkapazität sinkt (=maximale Ein- bis zur maximalen Ausatmung)

Diffusionskapazität sinkt (Menge an Atemwegsgasen welche ausgetauscht werden)

# Pathophysiologie

## Ventilation

Atempumpe (ventilatorisches System) bestehend aus:

- Neuronalen
- Muskulären
- Thorakalen Komponenten

Störungen der Atempumpe führen immer zu einer Beeinträchtigung der Ventilation

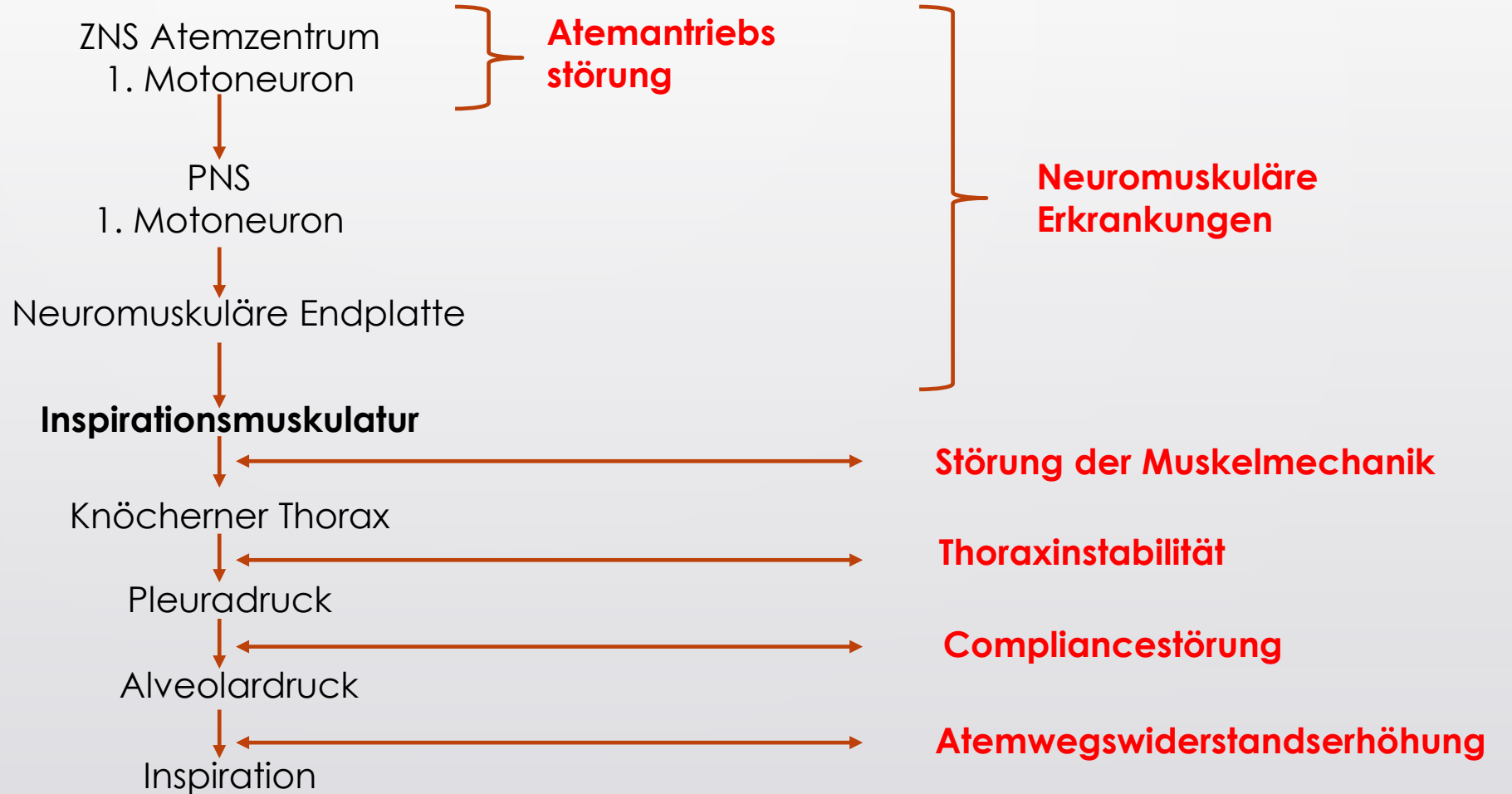
→ Alveoläre Hypoventilation

→ Hyperkapnische respiratorische Insuffizienz

→ CO<sub>2</sub> Partialdruck steigt (Hyperkapnie), O<sub>2</sub> Partialdruck fällt (Hypoxämie)

# Pathophysiologie

## Ventilation





# Pathophysiologie

## Ventilation

**Ein Atempumpversagen resultiert immer in einer hyperkapnischen respiratorischen Insuffizienz**



# Pathophysiologie

## Ventilation

### Messung der Atemmuskelfunktion

Leitfragen:

Liegt eine atemmuskuläre Einschränkung vor?

Wie hoch ist die Last der Atempumpe?

# Pathophysiologie

## Ventilation

### Symptome

- Luftnot (bei Belastung, beim Liegen)
- Beschleunigte, flache Atmung
- Vermehrter Einsatz der Atemhilfsmuskulatur
- Paradoxe Atemanstrengung (bei Inspiration zieht sich Thorax zusammen, z.B. bei Rippenserienfrakturen)
- Zeichen einer Hyperkapnie (morgendliche Kopfschmerzen, Schlafstörungen, periphere Ödeme)

# Pathophysiologie

## Ventilation

## Diagnostik

- Blutgasanalysen (kapillär/arteriell)
- Lungenfunktionsdiagnostik (Mundverschlussdruck, Hustenspitzenfluss)
- Ergo/Spirometrie
- Zwerchfellultraschall

**Die Funktionsdiagnostik ist sehr abhängig von der Mitarbeit des Patienten**

# Pathophysiologie

## Perfusion

Damit eine Diffusion stattfinden kann ist die Abstimmung der Ventilation und der Perfusion Grundvoraussetzung

Verteilungsstörungen:  
Gestörtes Belüftungs- Durchblutungs- Verhältnis

Beispiel: Lungenemphysem

→ Totraumventilation

# Pathophysiologie

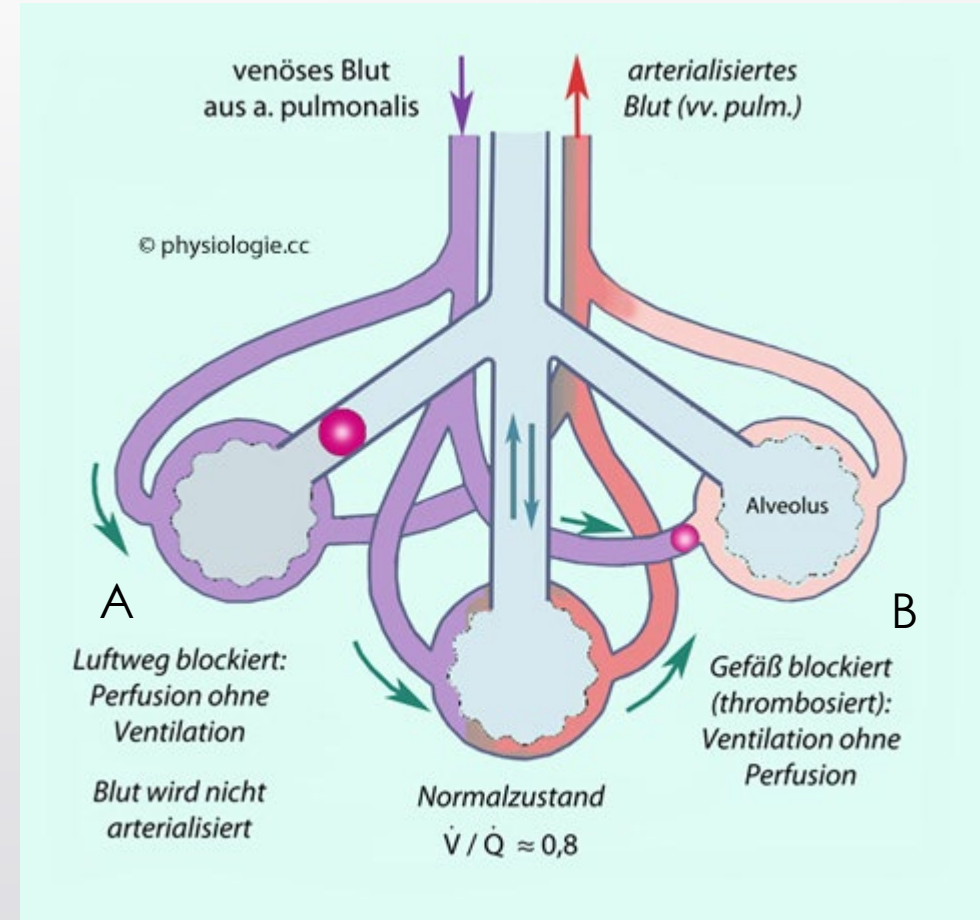
## Ventilation-Perfusion-Verhältnis

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

Bsp: Atelektase

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

Bsp: Lungenembolie



# Pathophysiologie

## Perfusion

Totraum:

Anteil des Respirationstraktes, welcher nicht am Gasaustausch teilnimmt

Physiologisch: Trachea, Bronchien, etc.

Pathologisch: Lungenembolie → Alveolen welche belüftet jedoch nicht durchblutet



## Pathophysiologie

### Totraum

Anatomischer:

Atemwege von Nase bis zu den terminalen Bronchien

Alveolärer:

Alveolen die nicht am Gasaustausch teilnehmen

Funktionell:

Summe anatomischer und alveolärer Totraum

# Pathophysiologie

## Störungen des Gasaustausches in der Lunge

Durchblutungsstörung → Erhöhung des funktionellen Totraums (z.B. Lungenembolie)

Diffusionshindernis → Erhöhung des funktionellen Totraums + alveoläre venöse Beimischung, rechts-links-shunt (z.B. Lungenödem)

Ventilationsstörung → alveoläre venöse Beimischung nimmt zu (z.B. Aspiration)



# Pathophysiologie

## Diffusion

Störung durch krankhafte Veränderungen der

- Alveolen
- Blutgefäße
- Verdickung der alveolo-kapillären Barriere
- Diffusionsweg wird vergrößert (zwischen Blut-Gasraum)

Folge:

Hämoglobin wird nicht ausreichend mit Sauerstoff beladen



## Pathophysiologie

### Diffusion

Beispiele:

Lungeödem  
Lungenfibrose

Rheumatoide Arthritis

Kardiovaskuläre Erkrankungen, z.B. Herzinfarkt, Pulmonale Hypertonie

Nikotin, Alkoholabusus

# Pathophysiologie

## Diffusion

CO<sub>2</sub> hat eine ca. 20x höhere Diffusionsfähigkeit als O<sub>2</sub>

→ Gasaustauschstörungen führen nicht zwingend zu einer Hyperkapnie  
Sondern meist zu einer isolierten Hypoxie

→ Bedarfshyperventilation: der Körper versucht die Hypoxie auszugleichen

Häufige folge: Absinken des CO<sub>2</sub> Partialdruckes

# Pathophysiologie

## Allgemeine Begriffe

Hyperventilation	gesteigerte Ventilation der Lunge mit absinken des CO <sub>2</sub> Werte
Tachypnoe	Erhöhung der Atemfrequenz
Bradypnoe	Reduzierte Atemfrequenz
Apnoe	Atemstillstand

# Pathophysiologie

## Auskultation

„das Abhören“

→ Lunge, Herz, Darm, Magen

Auskultation der Lunge:

- Beurteilung der Atemwege (Trachea, Hauptbronchien,...)
- Beurteilung der Lungenbelüftung
- Beurteilung über korrekte Lage von Trachealkanüle (oder Tubus)

# Pathophysiologie

## Atemwegsgeräusche

Geräusche werden während der **Inspiration lauter**,  
Während der **Expiration leiser**

### **Trockene Atemgeräusche**

- Giemen: bronchiale Engstellen, Sekretfäden welche bei Atmung mitschwingen
  - Asthma, COPD <https://www.youtube.com/watch?v=i8QG6s6xAyMk>
- Brummen: bronchialen Engstellen welche zu Verwirbelungen führen, Sekretfäden
  - Chronische Bronchitis, COPD <https://www.youtube.com/watch?v=-rUXOV0US3M>

Entstehen oft erst bei tiefer Expiration

# Pathophysiologie

## Atemwegsgeräusche

### **Feuchte Atemgeräusche**

- Grobblasig Rasselgeräusche: Luftverwirbelungen durch Sekret vor allem bei Inspiration
  - Chronischen Bronchitis, COPD <https://www.youtube.com/watch?v=2kd-m1yrHhl>
- Feinblasige Rasselgeräusche: platzende Luftblasen in Atemwegen
  - Lungenödem

### **Stridor**

- Pfeifend zischende Atemgeräusche: Fremdkörper, Verengung der oberen Atemwege (Asthma), Struma, allergische Reaktion  
<https://www.youtube.com/watch?v=aRlc578x4hU>

# Pathophysiologie

Atemwegsgeräusche

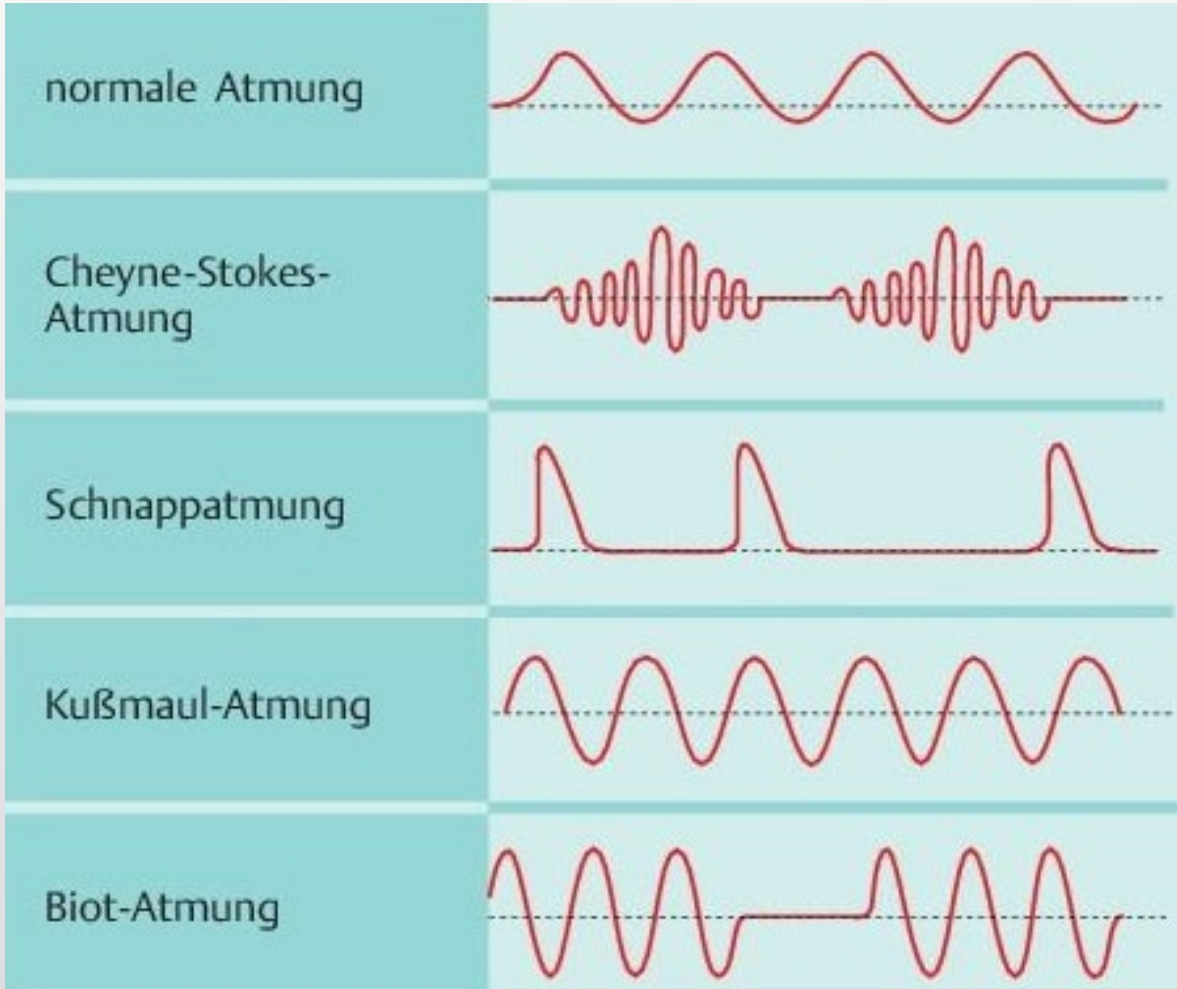
Was ist das??





# Pathophysiologie

Atemmuster



Schwere Herzinsuffizienz,  
Enzephalitis

Kurz vor Todeseintritt

Metabolische Azidose  
(Diabetisches Koma)

Hirndrucksteigerung,  
Hirnverletzungen



# Akute Respiratorische Insuffizienz

# Pathophysiologie

## Akute Respiratorische Insuffizienz

Kennzeichen:

- Hoch symptomatischer Beginn
- Rasch eintretende Verschlechterung des Pulmonalen Gasaustausches
- Umgehende Unterstützung der Atmungsfunktion nötig

Ursachen:

- Neu aufgetretene Problematik(pulmonal oder extra Pulmonal)
- Akute Verschlechterung bestehender Lungenerkrankung

# Pathophysiologie

## Akute Respiratorische Insuffizienz

### **Typ 1: Akute Hypoxämie**

Störung des Lungengewebes (Lungenparenchym)

→ Vorherrschen einer Pulmonalen Insuffizienz

Sauerstoffdiffusion gestört – Sauerstoffgehalt im Blut ↓  
Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ↓

→ Hypoxämisches respiratorisches Versagen

# Pathophysiologie

## Akute Respiratorische Insuffizienz

### **Typ 1: Akute Hypoxämie**

Primär Gasaustauschstörung ohne versagen der Atemmuskelpumpe

→ Im Verlauf Erschöpfung der Atemmuskulatur

# Pathophysiologie

## Akute Respiratorische Insuffizienz

### **Typ 1: Akute Hypoxämie**

Vorliegende Störung:

Perfusions- und/oder Diffusionsstörung

Ventilation primär nicht betroffen  
erst bei einem Anstieg von  $\text{Co}_2$  kann dies auch zu einem Ventilationsversagen führen

# Pathophysiologie

## Akute Respiratorische Insuffizienz

### **Typ 1: Akute Hypoxämie**

Regionale Belüftungsstörungen

Oft extrapulmonale Ursachen:

- Dystelektasen/Atelektasen
- Pleuraerguss
- Pneumothorax

# Pathophysiologie

## Akute Respiratorische Insuffizienz

### **Typ 1: Akute Hypoxämie**

Behandlung:

Diffusions- und regionale Belüftungsstörungen können kurzfristig mit Sauerstoffgabe überbrückt werden

Ursachenbehandlung:

z.B. Antibiotika Therapie bei Pneumonie

Rekrutierung und Stabilisierung der Alveolen (Bronchoskopie, maschinelle Beatmung)

NIV- Maskenbeatmung

Invasive Beatmung



# Pathophysiologie

## Akute Respiratorische Insuffizienz

### **Typ 2: Akute Hyperkapnie**

Störung der Atemmuskelpumpe

→ Vorherrschen einer Ventilatorischen Insuffizienz

Zumeist akute Überlastung der Atemmuskulatur bei vorliegender chronischer Ventilationseinschränkung mit einer akuten Verschlechterung

# Pathophysiologie

## Akute Respiratorische Insuffizienz

### **Typ 2: Akute Hyperkapnie**

Folge:

Gasaustausch gestört durch geringe Ventilation –  
Sauerstoffgehalt im Blut ↓  
Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ↑, da nicht abgeatmet werden kann

→ Hyperkapnisches respiratorisches Versagen

# Pathophysiologie

## Akute Respiratorische Insuffizienz

### **Typ 2: Akute Hyperkapnie**

Ursachen:

Zentrale Störungen

- Ischämie, Blutungen, Ödeme
- Zentral wirksame Medikamente (Narkose)
- Zentral wirksame Toxine

Exacerbation chronischer Erkrankungen

- COPD
- OHS (Obesitas hypoventilationssyndrom)
- Muskuläre und neuromuskuläre Erkrankungen



# Pathophysiologie

Akute Respiratorische Insuffizienz

## **Typ 2: Akute Hyperkapnie**

Therapie:

Mittel der Wahl NIV-Beatmung

Cave: Kontraindikationen beachten

# Pathophysiologie

## Akute Respiratorische Insuffizienz

	Typ 1 – Akute Hypoxämie	Typ 2 – Akute Hyperkapnie
Ursachen:	Pulmonale Insuffizienz	Ventilatorische Insuffizienz
paO2 paCO2	niedrig normal - niedrig	niedrig erhöht
Beispiele:	Pneumonie Lungenödem (cardial) Atelektasen Sepsis ARDS	Obstruktive Ventilationsstörung Restriktive Ventilationsstörung zentrale Störungen (Ischämie,Blutung,...) COPD Ventilationsversagen bei kardialer Dekompensation

# Pathophysiologie

## Störungen der Atemmuskelpumpe

Unmittelbarer Grund für unzureichende Spontanatmung	Pathophysiologischer Bereich	Mögliche Ursachen	Beispiel
Schwäche der Atempumpe	Atemzentrum	Ischämie, Infektion	Enzephalitis
	nervale Steuerung	Neuritis, Nervenschädigung	Zwerchfellparese, Guillain-Barré-Syndrom, CIP, ALS, Diabetes mellitus
	Atemmuskeln	Myositis, Muskeldystrophie, Muskelatrophie	CIM, VIDD, Myasthenie, M. Duchenne, Post-Polio-Syndrom
Überlastung der Atempumpe	Atemwege	Obstruktion, Überblähung, Recurrens- parese	COPD, Mucoviszidose
	Lungenparenchym	reduzierte Compliance	Lungenödem, Fibrose
		reduzierte Gasaustauschfläche	Emphysem, Pneumonie
	Thoraxwand	reduzierte Compliance	Pleuraerguss, Skoliose, Post-TBC-Syndrom
	Sauerstofftransport (reduziert)	Anämie, Methämoglobin	Blutabnahme, Blutung, Infektanämie, Medikamente
		Perfusionsminderung	Herzinsuffizienz, PAH, Lungenembolie
	Sauerstoffverbrauch (erhöht)	erhöhter Umsatz	Katecholamine, Unruhe/Agitation, Infektion
metabolische Versorgung	Stoffwechselstörung	Hypothyreose, Mangelernährung, Elektrolytimbalance	

# Pathophysiologie

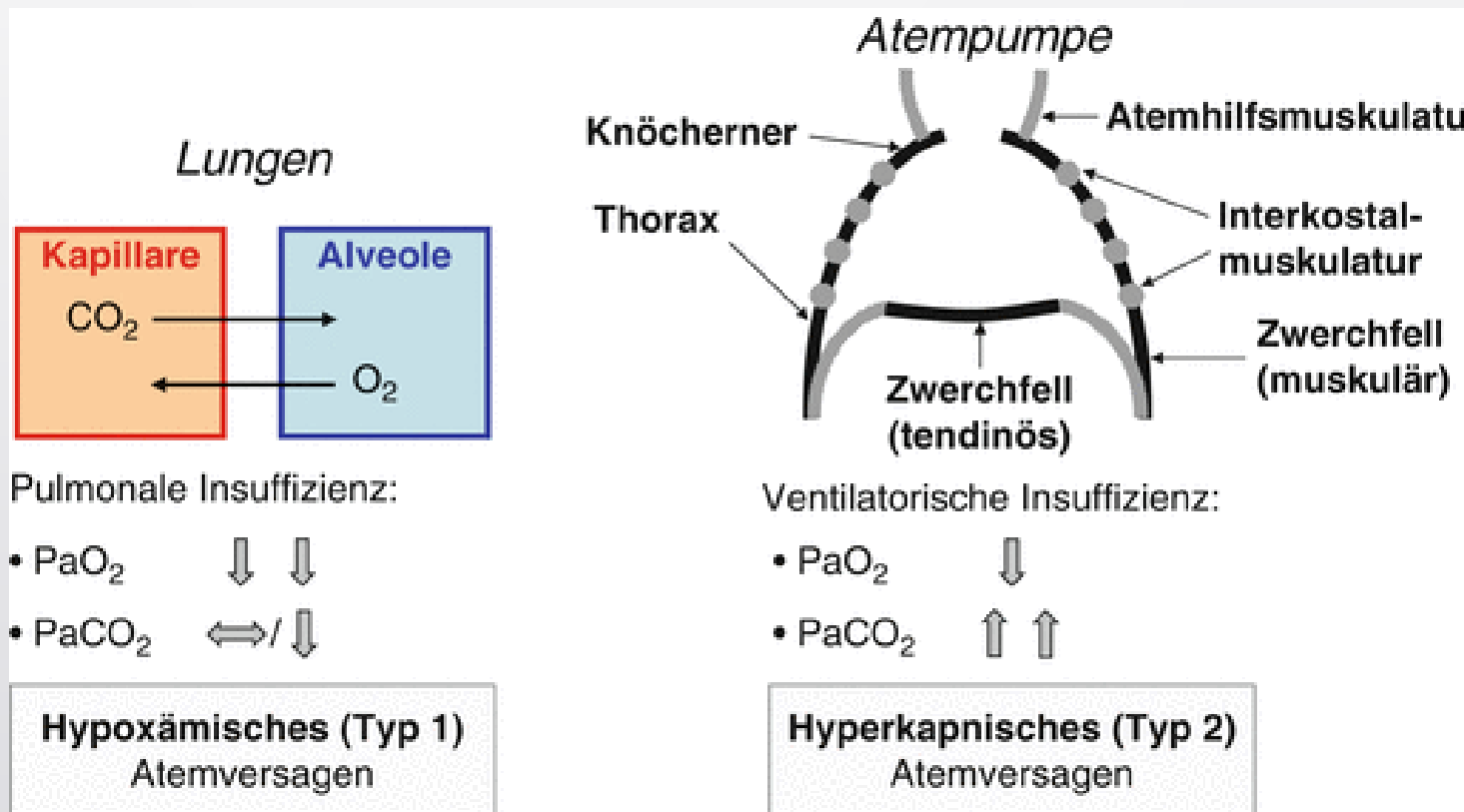
## Akute Respiratorische Insuffizienz

	<b>Obstruktive Ventilationsstörung</b>	<b>Restriktive Ventilationsstörung</b>
Ursachen:	Erhöhung des Atemwegswiderstand	Dehnbarkeit der Lunge vermindert
Lungenfunktion:	FRC und RV sind erhöht	VC, FRC, RV sind erniedrigt
Symptome:	Erschwerte Ausatmung	Belastungsdyspnoe
	Kollabieren der Alveolen → Emphysem und Überblähung der Lunge	Steifigkeit des Thorax → erschwert Atembemühungen des Patienten
Beispiele:	Asthma bronchiale, COPD	Neuromuskuläre Erkrankungen, Thoraxtrauma
	Chronische Bronchitis, Zystische Fibrose	Skoliose

# Pathophysiologie

## Akute Respiratorische Insuffizienz

Zusammenfassung





## Mögliche Fragen

**Welche Erkrankungen können zu einer Überlastung der Atempumpe führen?**

- COPD
- Lungenfibrose
- Postpoliosyndrom
- Kyphoskoliose



**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit**