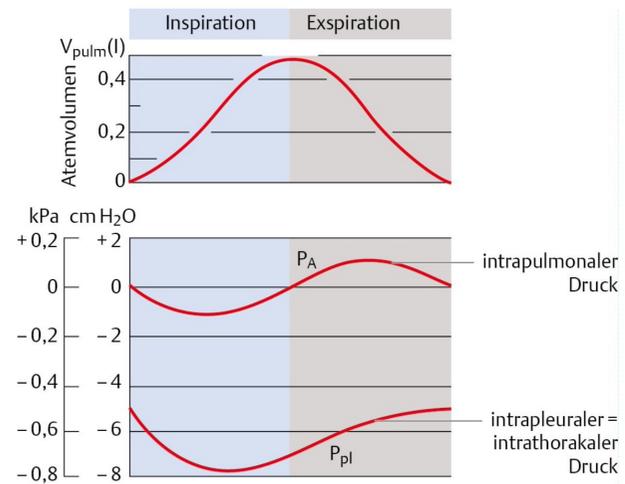
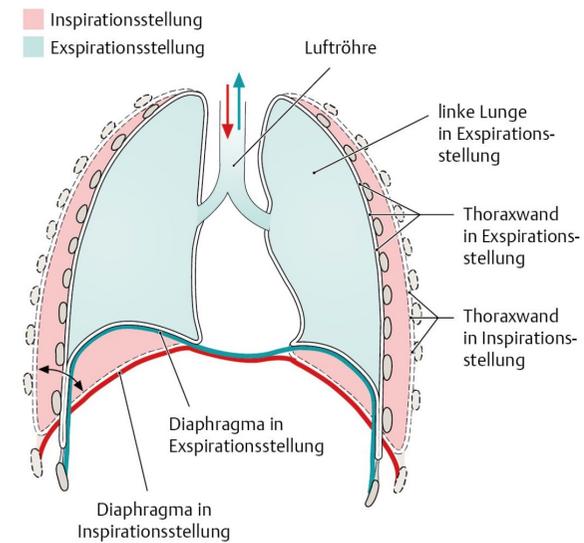


# Block 2- Lunge Repetitorium

# Atemmechanik

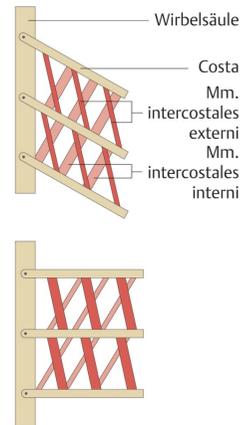


Quelle: Schünke, Schulte, Schumacher. Prometheus Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Illustrationen: Voll, Wesker. Thieme, 2018  
 Silbernagl, Despopoulos, Draguhn, Taschenatlas Physiologie, Thieme, 2018

# Atemmechanik- beteiligte Muskeln

- ▶ Inspiration in Ruhe aktiv & Expiration passiv
- ▶ Inspiration: vertieft
  - ▶ Kontraktion Zwerchfell + Mm intercostales externi
- ▶ Expiration: vertieft
  - ▶ Entspannung Zwerchfell + Mm intercostales interni

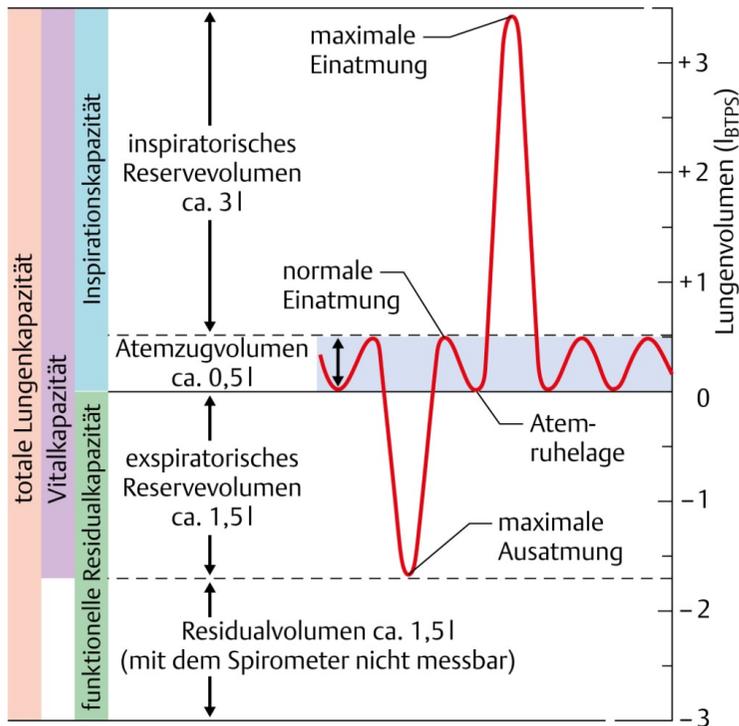
| Atemmuskulatur |  |   |
|----------------|--|---|
| Phase          | Ausprägung   | beteiligte Muskeln  |
| Inspiration    | normal (Ruheatmung)  | Kontraktion des <b>Zwerchfells</b> (hier im Bild), dadurch Erweiterung des Recessus costodiaphragmaticus  |
|                | vertieft (bei leichter körperlicher oder auch seelischer Anspannung)<br>tief (bei Anstrengung) | Kontraktion der <b>Mm. intercostales externi</b> (hier im Bild)<br><br><b>Atemhilfsmuskulatur:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- M. sternocleidomastoideus: Thoraxhebung</li> <li>- Mm. scaleni: heben 1. u. 2. Rippe</li> <li>- M. serratus anterior: hebt bei fixiertem Schultergürtel 1.-9. Rippe</li> <li>- M. serratus posterior superior: hebt 2.-5. Rippe</li> <li>- M. serratus posterior inferior: fixiert die unteren 4 Rippen</li> <li>- Mm. pectorales major et minor: Brustkorbhebung</li> <li>- M. erector spinae: streckt den Thorax</li> </ul> |
| Expiration     | normal   | <b>passiv</b> durch Erschlaffung der inspiratorisch tätigen Muskeln und durch das Zusammenziehen der Lunge  |
|                | vertieft   | <b>Atemhilfsmuskeln:</b> Mm. intercostales interni, Mm. intercostales intimi, Mm. subcostales, M. transversus thoracis<br><br><b>weitere Hilfsmuskeln</b> (Bauchmuskeln, die durch Erhöhung des intraabdominellen Drucks den intrathorakalen Druck erhöhen): M. transversus abdominis, M. obliqui externi et interni abdominis, M. rectus abdominis, M. iliocostalis lumborum, M. latissimus dorsi  |



# Lungenvolumina und -kapazitäten

Statische Lungenparameter:

- ▶ Atemzugvolumen (TV, Tidal Volume): 0.4-0.5 l
- ▶ Inspiratorisches Reservevolumen (IRV): 2.5-3 l (circa 2/3 d. VC)
- ▶ Expiratorisches Reservevolumen (ERV): 1-1.5 l (circa 1/3 d. VC)
- ▶ Vitalkapazität (VC): 4.5-5 l
- ▶ Residualvolumen (RV): 1.5-2 l
- ▶ Totalkapazität (TC): 6-7 l



(Quelle: Silbermagl, Despopoulos, Draguhn, Taschenatlas Physiologie, Thieme, 2018)

## Statischen Lungenvolumina bzw. -kapazitäten sowie die Auswirkungen von Obstruktion & Restriktion.

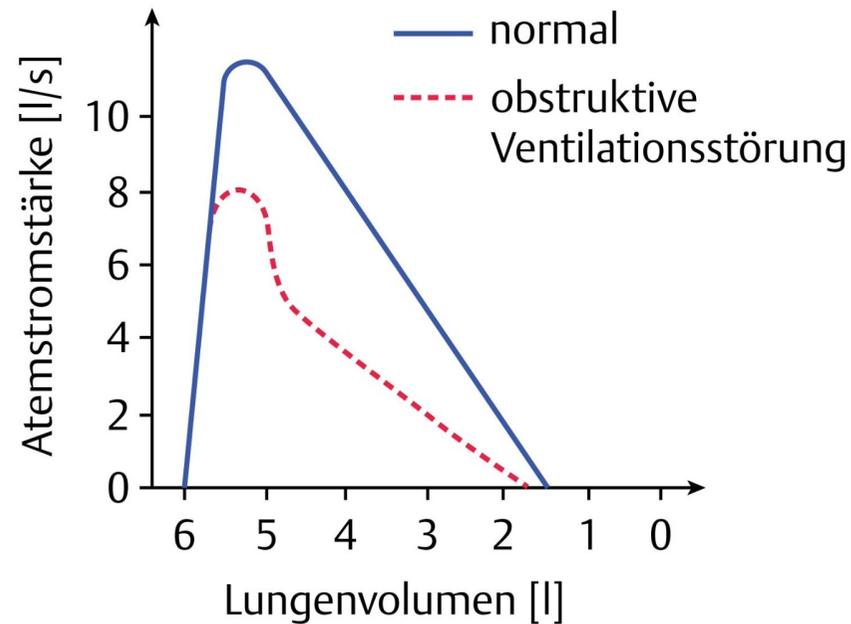
### ▶ Obstruktion:

- ▶ erhöhter Atemwegwiderstand (Resistance)  
=> erhöhte Atemarbeit

- ▶ **VK bleibt gleich**

### ▶ Ursachen:

- ▶ Sekret (z.B. bei Mukoviszidose oder Bronchitis),
- ▶ muskuläre Engstellung der Bronchien (z.B. bei **Asthma bronchiale**)
- ▶ Stenosen durch Tumore
- ▶ COPD



(Quelle: Gekle et al., Taschenlehrbuch Physiologie, Thieme, 2015)

## Statischen Lungenvolumina bzw. -kapazitäten sowie die Auswirkungen von Obstruktion & Restriktion.

- ▶ Die **Compliance C** ist das physikalische Maß für die Dehnbarkeit
- ▶ Sie ist definiert als der Quotient aus Volumenänderung und der dafür nötigen Druckänderung:

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

- ▶ In Atemruhelage beträgt die Compliance etwa 1 l/kPa; es reicht also 1 kPa aus, um die Lungen um 1 l zu dehnen.
- ▶ Die Compliance der Lunge ist von den elastischen Rückstellkräften und der Oberflächenspannung der Alveolen abhängig.
- ▶ **Je größer die Compliance, desto dehnbarer die Lunge.**

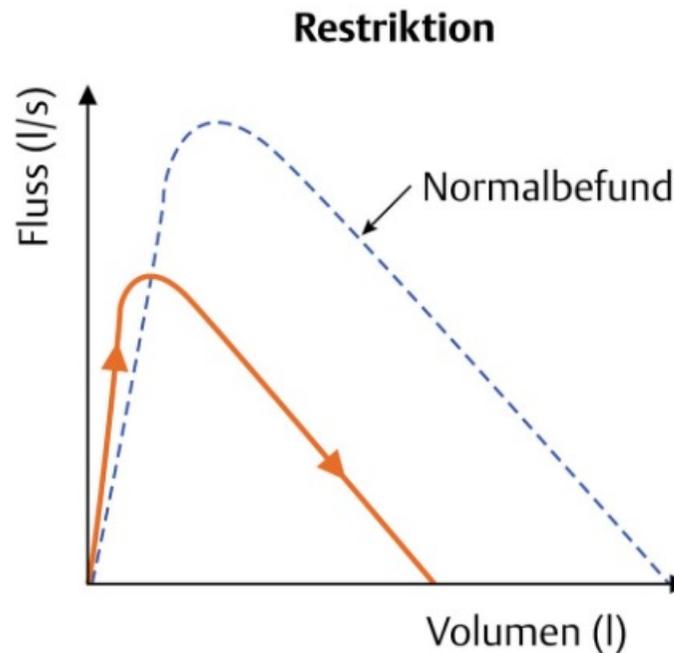
## Statischen Lungenvolumina bzw. -kapazitäten sowie die Auswirkungen von Obstruktion & Restriktion.

### ▶ Restriktion:

- ▶ **verminderten Compliance** von Lunge oder Thorax.
- ▶ **VK ist erniedrigt**

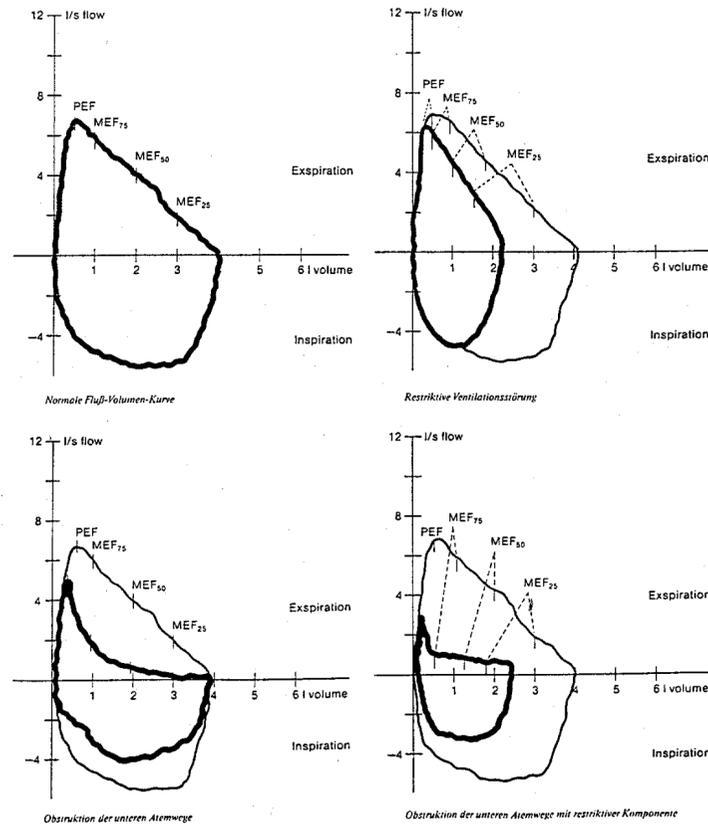
### ▶ Ursachen:

- ▶ Thoraxdeformitäten
- ▶ schmerzbedingt verminderte Beweglichkeit, z.B. bei Rippenfrakturen
- ▶ Lungenfibrose (Verhärtung des Lungengewebes).
- ▶ Zwerchfellschwäche



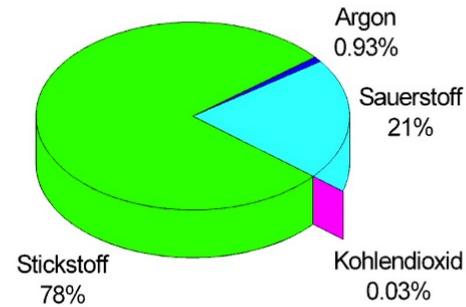
(Quelle: Lorenz, Bals, Checkliste XXL Pneumologie, Thieme, 2016)

# Statischen Lungenvolumina bzw. -kapazitäten sowie die Auswirkungen von Obstruktion & Restriktion.

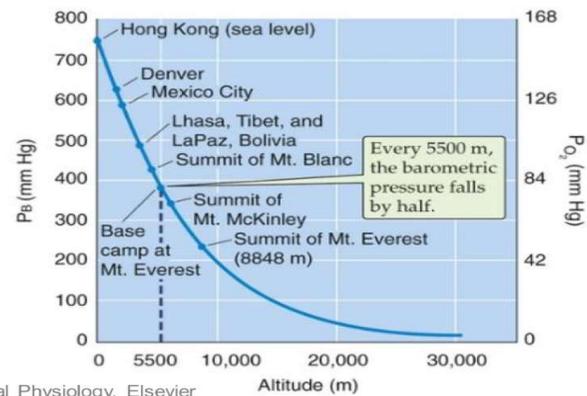


# Zusammensetzung der Luft & Luftdruck

- ▶ Zusammensetzung Luft: konstant bis 90km
- ▶ Luftdruck:
  - o Meeresniveau: 760 mmHg
  - o halbiert alle 5500m (exponentiell)
    - ▶ Mt. Everest => 251 mmHg



© Ivo Volf Institut für Physiologie



Boron & Boulpaep: Medical Physiology, Elsevier

# Partialdruck

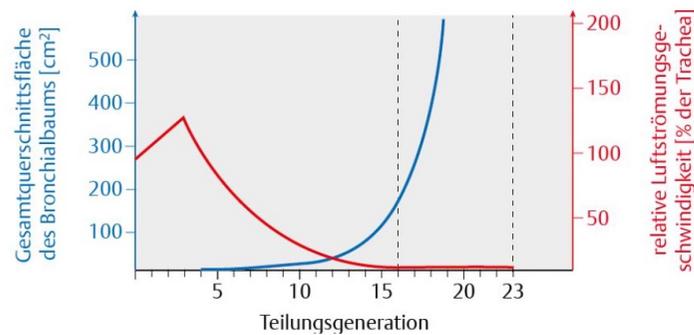
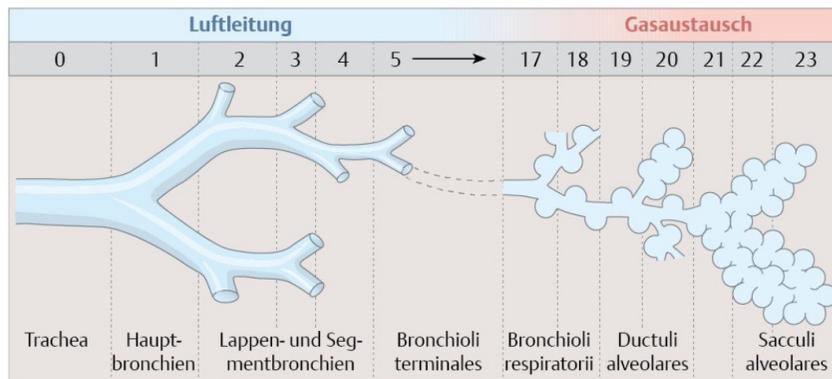
- ▶ Partialdruck eines Gases ( $P_{\text{Gas}}$ )  
= Druck, den dieses Gas ausüben würde, befände es sich allein im verfügbaren Volumen
- ▶ = Gesamtdruck des Gasgemisches ( $P_B$ ) x Anteil (%) des Gases
  
- ▶ Bsp 1: Partialdruck Sauerstoff auf Meeresniveau
  - ▶ Luftdruck: 760 mmHg & Sauerstoffanteil: 21%
  - ▶  $760 \text{ mmHg} * 0.21 \Rightarrow pO_2 = 160 \text{ mmHg}$
  
- ▶ Bsp 2: Partialdruck Sauerstoff auf dem Mt. Everest
  - ▶ Luftdruck: 760 mmHg & Kohlendioxidanteil: 0,04 %
  - ▶  $760 * 0,0004 \Rightarrow pCO_2 = 0,3 \text{ mmHg}$

## O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> Partialdruck in den Alveolen vs. Umgebungsluft?

| Gas                       | Inspirationsluft |                                  |                                 | Alveoläres Gasgemisch |                          |
|---------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|
|                           | F <sub>I</sub>   | trocken P <sub>I</sub><br>(mmHg) | feucht P <sub>I</sub><br>(mmHg) | F <sub>A</sub>        | P <sub>A</sub><br>(mmHg) |
| N <sub>2</sub> , Edelgase | 0,79             | 600                              | 563                             | 0,75                  | 573                      |
| O <sub>2</sub>            | 0,21             | 160                              | 150                             | 0,13                  | 100                      |
| CO <sub>2</sub>           | 0,0004           | 0,3                              | 0,3                             | 0,05                  | 40                       |
| H <sub>2</sub> O          | 0                | 0                                | 47                              | 0,06                  | 47                       |
| insgesamt                 | 1                | 760                              | 760                             | 1                     | 760                      |

- ▶ Sättigung der Atemluft mit Wasserdampf auf dem Weg in die Alveolen
  - ▶  $P_{\text{Gas}} = (P_B - P_{\text{H}_2\text{O}}) \times \text{Anteil Gas}$

# Atemwegswiderstand



- ▶ = durch den **Strömungswiderstand der Luft in den Atemwegen** verursacht
- ▶ **Maßgeblich beeinflusst durch die oberen Atemwege (Trachea & Bronchien)**
- ▶ **kleinen Bronchien und Bronchiolen haben nur einen geringen Einfluss auf den Atemwegswiderstand**
  - ▶ => Ab der 4. Verzweigung nimmt die Gesamtquerschnittsfläche mit jeder weiteren Verzweigung zu

Quelle oben: Arastéh et al, Duale Reihe Innere Medizin, Thieme, 2012,  
Quelle unten: Behrends et al, Duale Reihe Physiologie, Thieme, 2012

# Atemwegwiderstand

► Hagen-Poiseuille-Gesetz:

Der Widerstand in einem Gefäß ist indirekt proportional zur vierten Potenz des Radius ist.

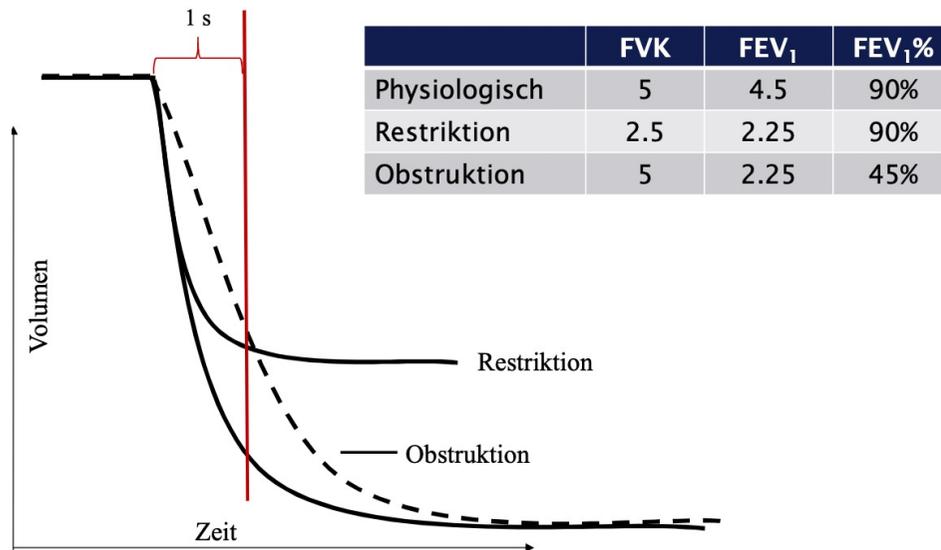
$$R = \frac{8\eta l}{\pi r^4}$$

Hierbei ist:

- $R$  = Atemwegwiderstand
- $r$  = Gefäßradius
- $\eta$  = Viskosität
- $l$  = Gefäßlänge

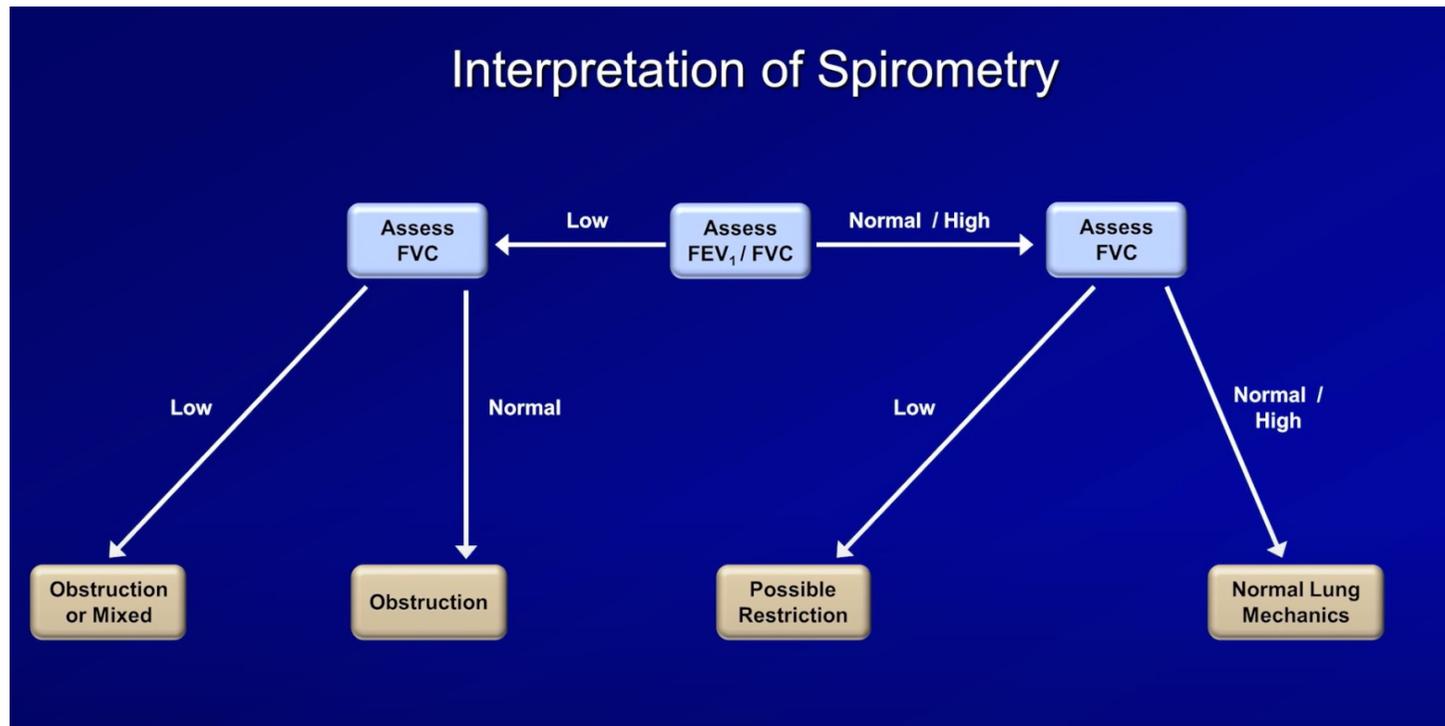
# Dynamischen Lungenvolumina

## Spirogramm: Volumen-Zeit Darstellung Restriktion / Obstruktion



- ▶ FVC: Forcierte expiratorische Vitalkapazität
- ▶ FEV<sub>1</sub>: Forciertes expiratorisches Volumen nach 1s (L/s)
- ▶ FEV<sub>1</sub>%: Relative 1 Sekunden Kapazität /Tiffeneau Index (%)
  - ▶ Tiffeneau-Index  $(FEV_1/VC) \times 100$

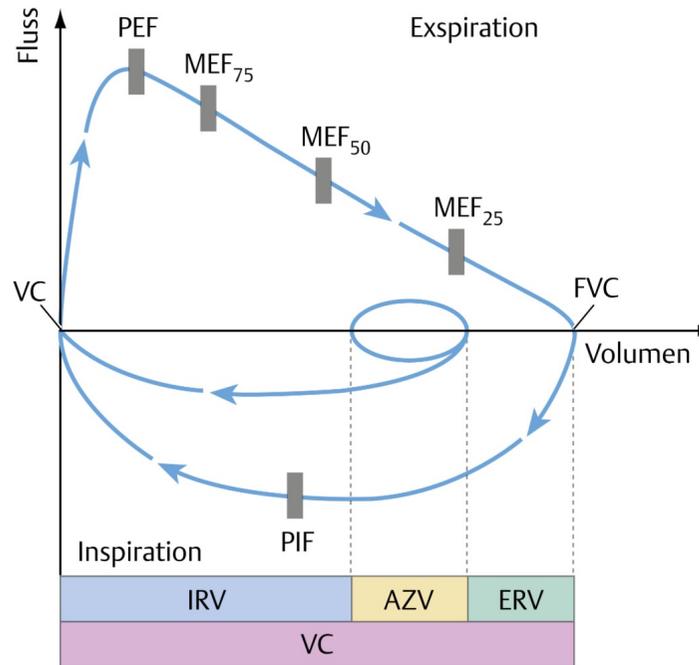
# Dynamische & Statische Lungenparameter Obstruktion oder Restriktion ?



[https://www.youtube.com/watch?v=yNDKD\\_xl684](https://www.youtube.com/watch?v=yNDKD_xl684)

# Dynamischen Lungenvolumina

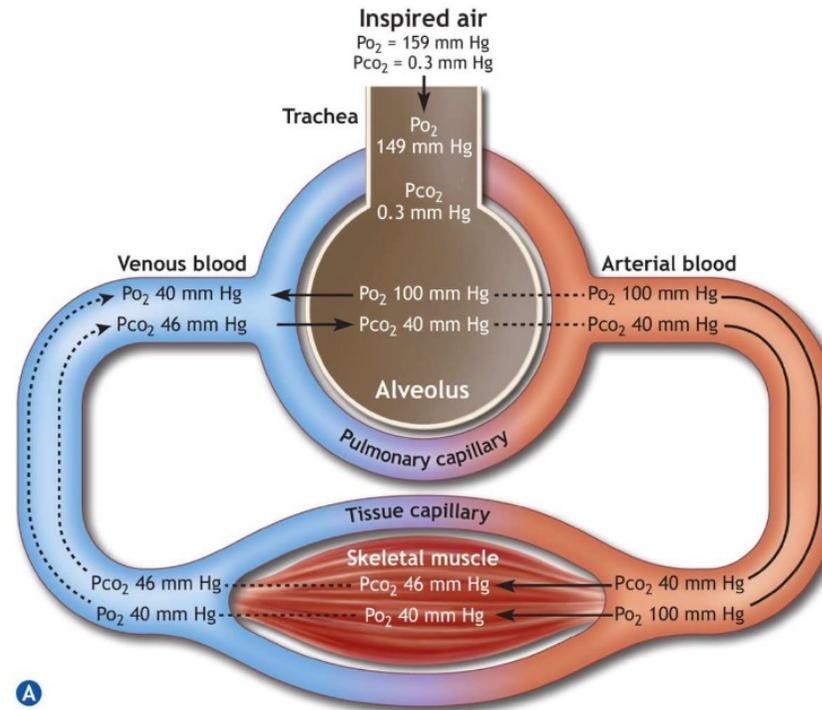
- ▶ PEF: Maximaler expiratorischer Spitzenfluss (L/s)
- ▶ MEF<sub>75</sub>: Maximaler expiratorischer Fluss bei 75 % Vitalkapazität (L/s)
- ▶ MEF<sub>50</sub>: Maximaler expiratorischer Fluss bei 50 % Vitalkapazität (L/s)
- ▶ MEF<sub>25</sub>: Maximaler expiratorischer Fluss bei 25 % Vitalkapazität (L/s)
- ▶ AMV: Atemminutenvolumen
  - ▶  $f \cdot \text{AZV}$  (L/min)
- ▶ AGW: Atemgrenzwert:
  - ▶ AMV bei max. Hyperventilation (L/min) = 120–170 l/min



(Quelle: Arasteh et al., Duale Reihe Innere Medizin, Thieme, 2018)

## Hyperventilation, Hypoventilation & Normoventilation

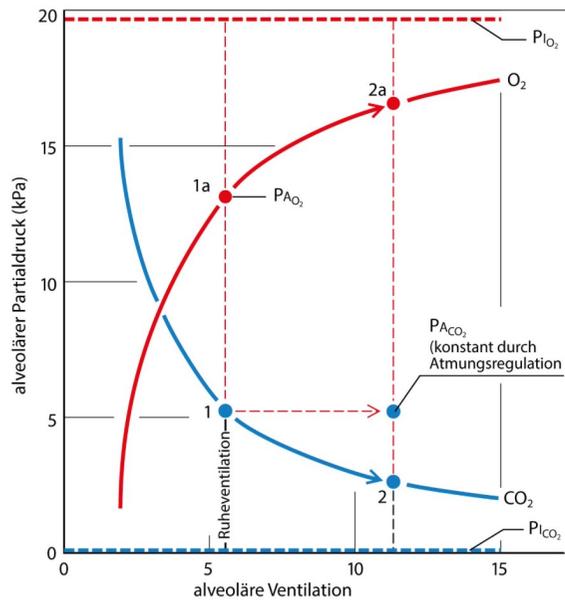
- ▶ Normoventilation = normale Belüftung der Alveolen
- ▶ Hypoventilation = verminderte Belüftung der Alveolen
- ▶ Hyperventilation = vermehrte Belüftung der Alveolen
- ▶ arteriell  $pO_2 = 100 \text{ mmHg}$  und  $pCO_2 = 40 \text{ mmHg}$



A

Copyright © 2015 Wolters Kluwer Health | Lippincott Williams & Wilkins

# Hyperventilation, Hypoventilation & Normoventilation



(Quelle: Pape, Kurtz, Silbernagl, Physiologie, Thieme, 2023)

## ▶ Alveolär:

### ▶ Normoventilation:

- ▶  $pO_2 = 100 \text{ mmHg}$  UND  $pCO_2 = 40 \text{ mmHg}$

### ▶ Hyperventilation

- ▶  $pO_2$  steigt an, der  $pCO_2$  nimmt ab

### ▶ Hypoventilation

- ▶  $pO_2$  nimmt ab, der  $pCO_2$  steigt an