

# Biophysikalische Grundlagen des Blutkreislaufes und der Atmung

**Balázs Kiss**

kissb3@gmail.com



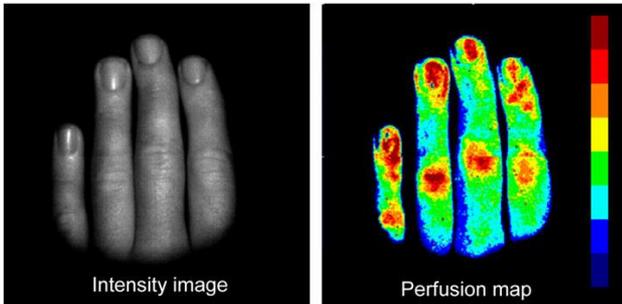
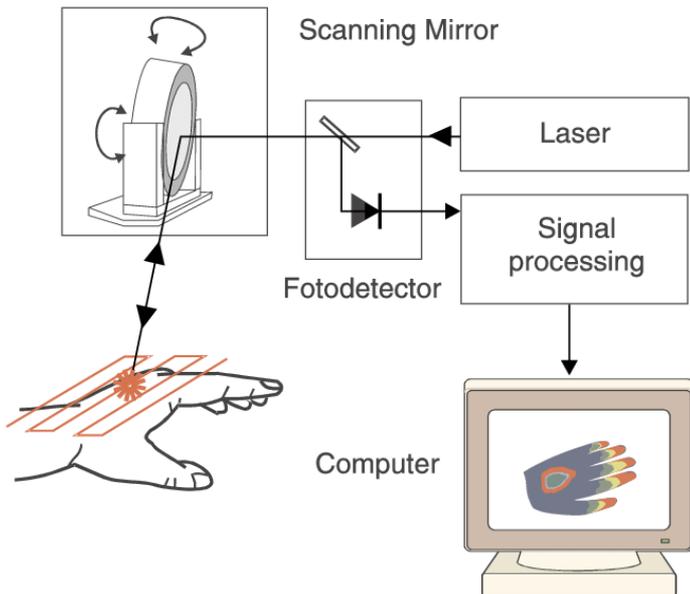
**KISSLAB - Myofilament-Mechanobiophysik Forschungsgruppe,  
Semmelweis Universität,  
Institut für Biophysik und Strahlenbiologie.**

*04. April 2025.*

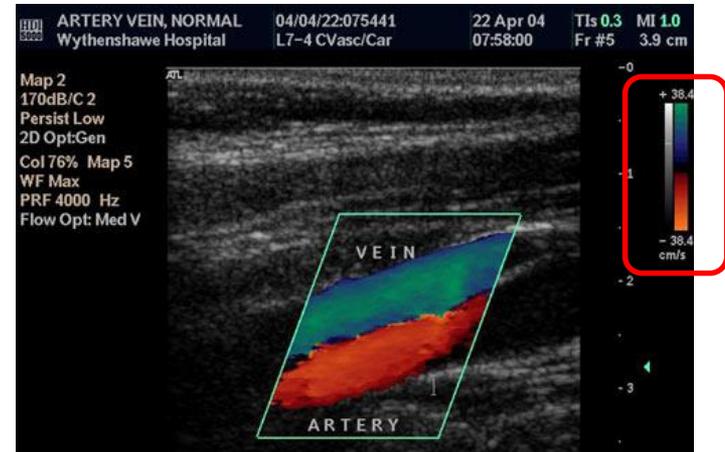
# Messmethoden

## Messmethoden der Volumenstromstärke:

- Impedanz-Methoden (s. später)
- Laser-Doppler

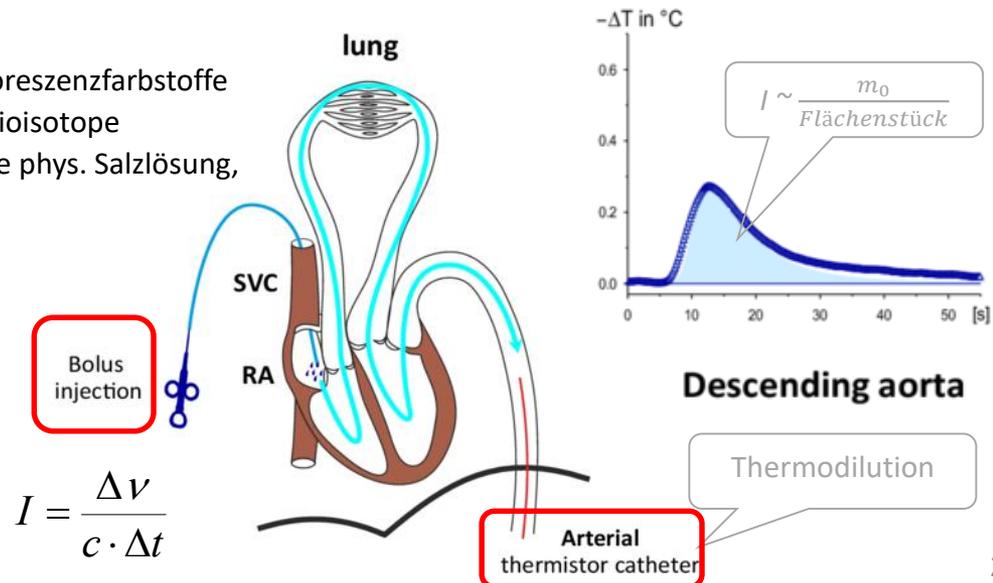


- Ultraschall-Doppler



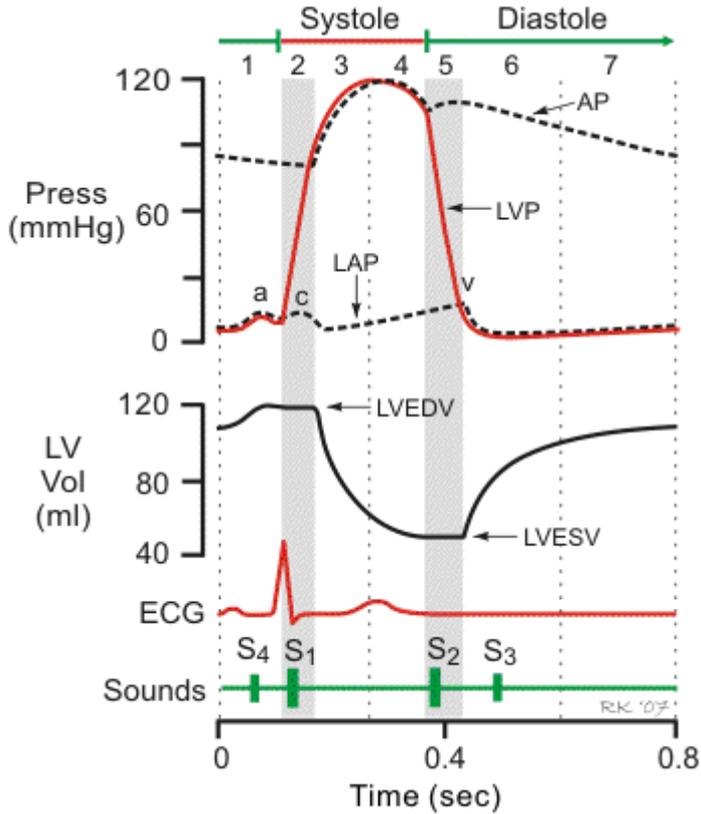
- Dilutionsmethoden

- Fluoreszenzfarbstoffe
- Radioisotope
- kalte phys. Salzlösung,
- ...



# Kontinuitätsgleichung beim Blutkreislauf

- Volumenstromstärke und Strömungsgeschwindigkeit in der Aorta?



Im Durchschnitt:

$$\bar{I} = \frac{\Delta V}{\Delta t} =$$

$$\bar{v} =$$

Maximal:

$$I_{\max} =$$

$$v_{\max} =$$

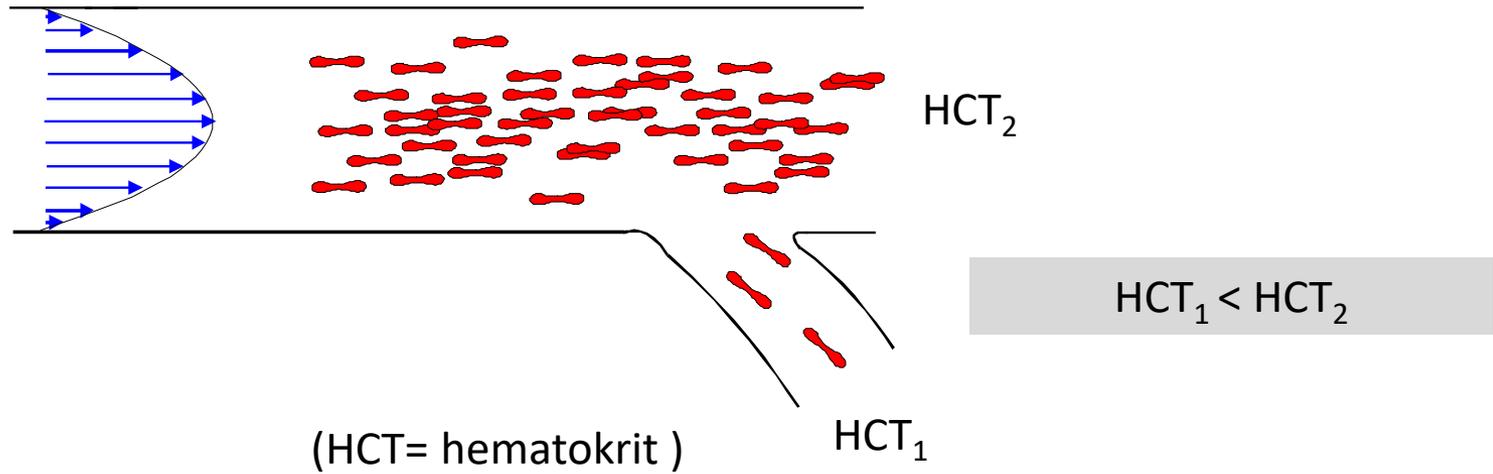
$$r \approx 12 \text{ mm}$$

$$\text{Pulszahl} = 72 \text{ /Min}$$

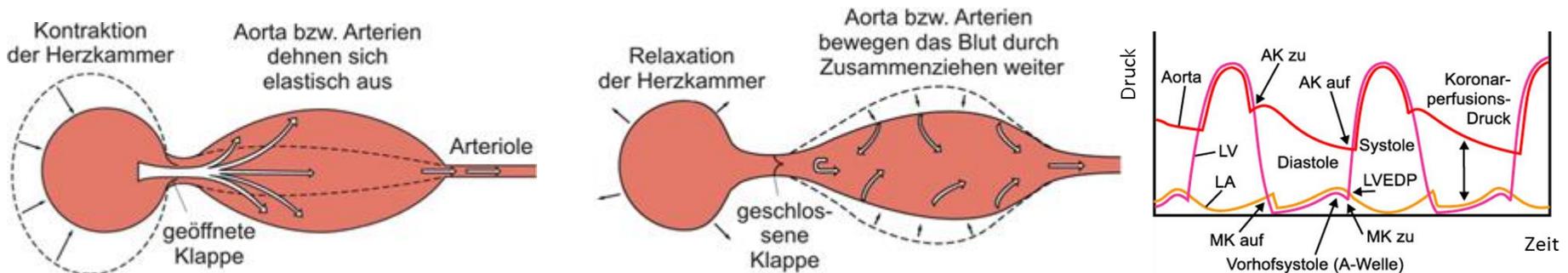
# Biophysik beim Blutkreislauf

## Plasma-Skimming

Parabolisches Geschwindigkeitsprofil + bernoullische Gleichung  $\Rightarrow$



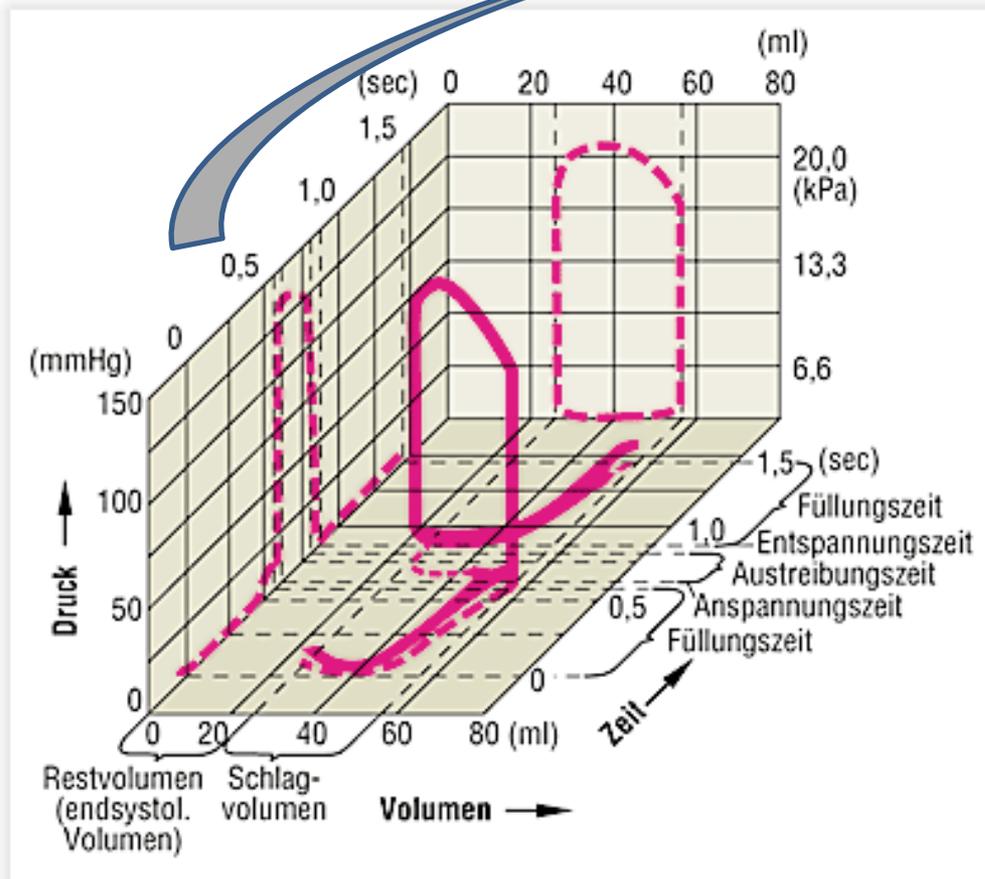
## Rolle der Elastizität der Aorta und der Arterien (Windkesselfunktion)



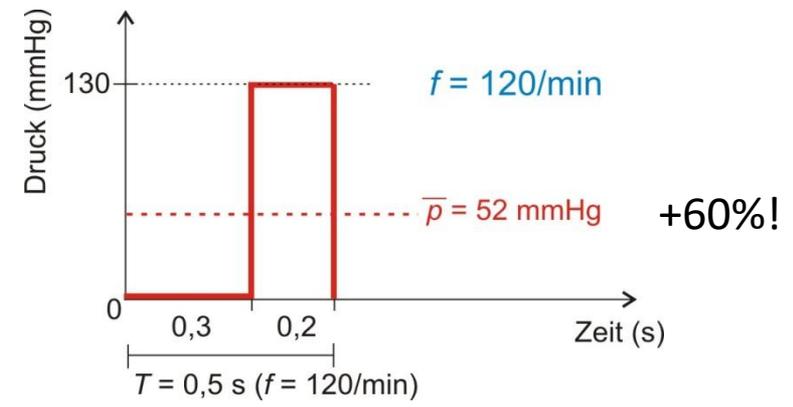
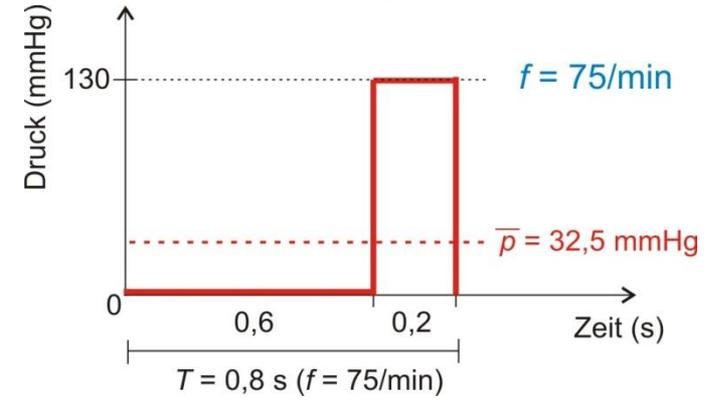
# Hagen-Poiseuille-Gesetz beim Blutkreislauf

- Regulation der Volumenstromstärke laut Hagen-Poiseuille-Gesetzes:

➤ Druck ( $\Delta p$ )



Modell:

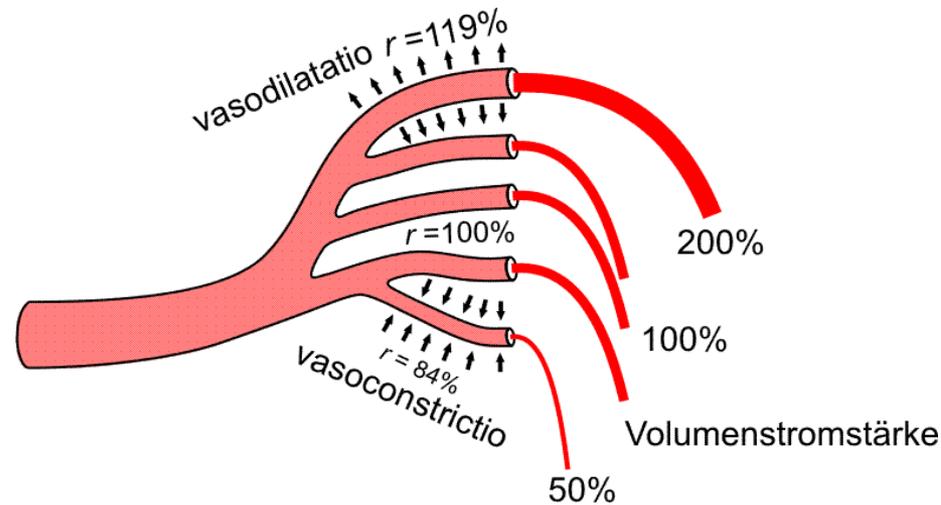


Der Durchschnittswert ( $\bar{\Delta p}$ ) kann durch die Pulszahl geändert werden!

# Hagen-Poiseuille-Gesetz beim Blutkreislauf

- Regulation der Volumenstromstärke laut Hagen-Poiseuille-Gesetzes:

➤ Radius ( $R^4$  !)



$$\Delta p = \frac{8\eta}{R^2} \frac{\Delta l}{R^2 \pi} r I$$

„Strömungs-  
widerstand“

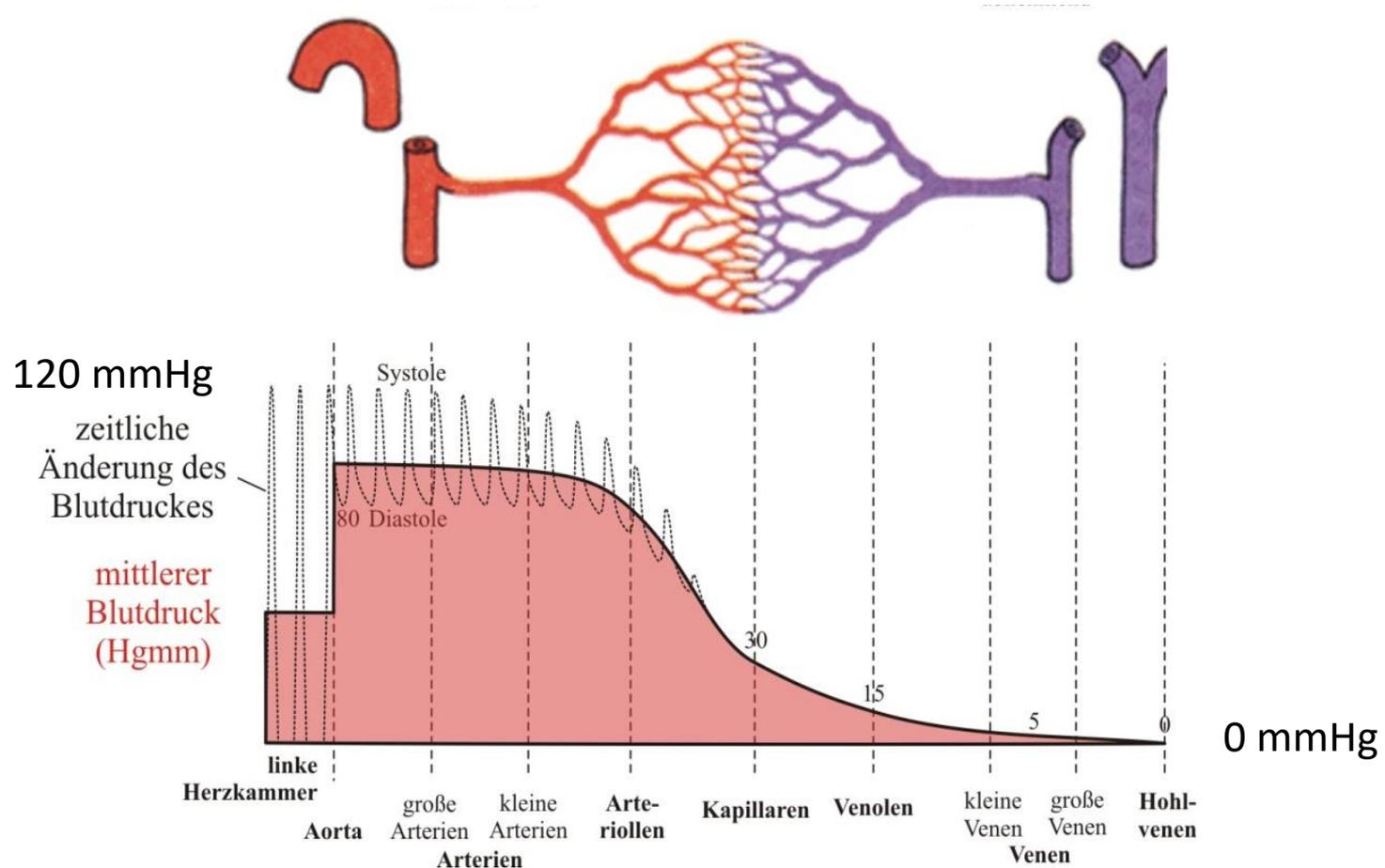
$$R_{\text{Strömung}} = \frac{8}{\pi} \eta \frac{\Delta l}{R^4}$$

Durch **Gefäßverengung (Vasokonstriktion)** wird der **Strömungswiderstand** und dadurch auch der **Druckabfall stark erhöht** (falls die gleiche Stromstärke durch das Herz aufrechterhalten wird).

Die Blutströmung wird durch die Herzarbeit aufrecht erhalten:

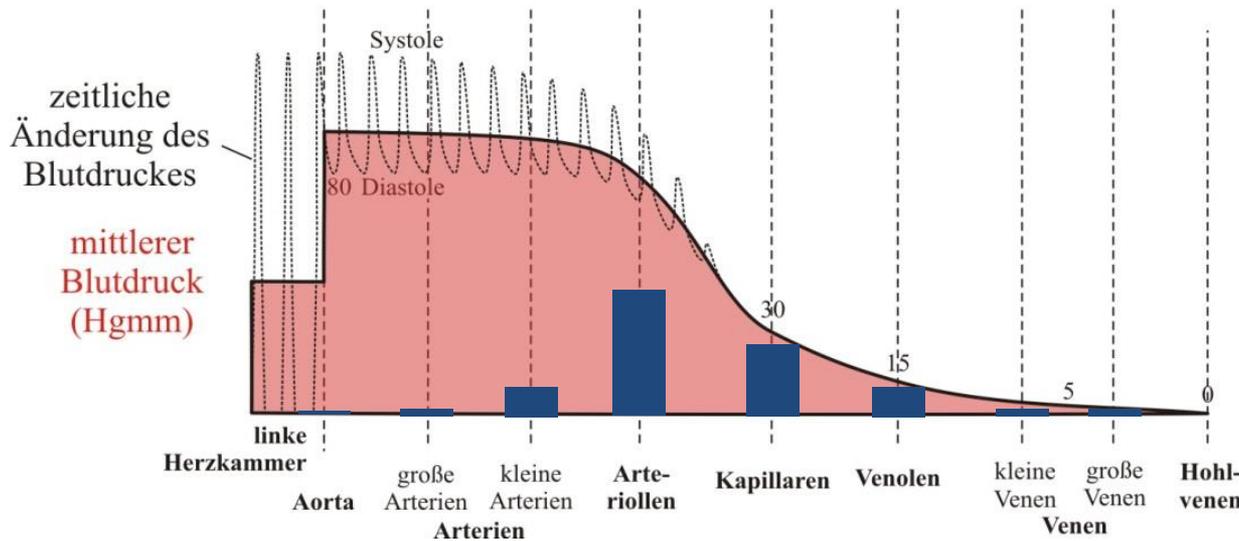
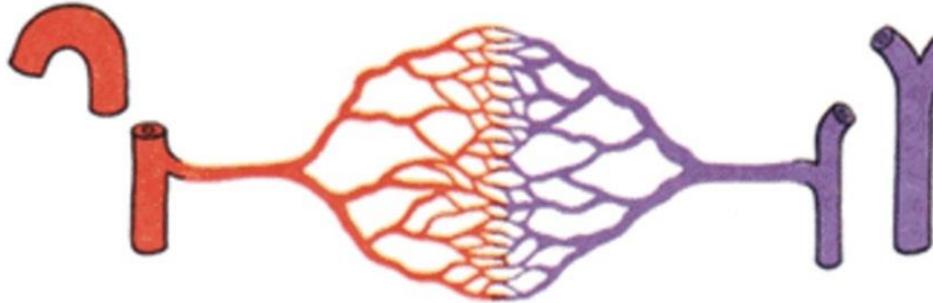
Durch Muskelkontraktion wird in dem linken Ventrikel (über dem atmosphärischen Druck (cca. 760 mmHg)) ein Überdruck erzeugt.

- Der Überdruck schwankt zwischen 0 und etwa 120 mmHg.
- Der Höchstdruckwert sinkt vom linken Ventrikel bis zum rechten Vorhof (0 mmHg).
- Der mittlere Blutdruck steigt vom linken Ventrikel bis zur Aorta (Klappen!), danach sinkt er bis zum rechten Vorhof.



Die Volumenstromstärke (Blutversorgung der Organe/Gewebe) wird aufgrund des Hagen–Poiseuille-Gesetzes durch

- $\overline{\Delta p}$  (durch Herzfrequenz!)
- und  $r$  (Gefäßerweiterung bzw. Gefäßverengung;  $R^4$ !) reguliert.



Strömungswiderstand

$$R_{\text{Strömung}} = \frac{8\eta}{R^2} \frac{\Delta l}{A}$$

Der Strömungswiderstand ist im Bereich der Arteriolen am größten (=Widerstandgefäße).

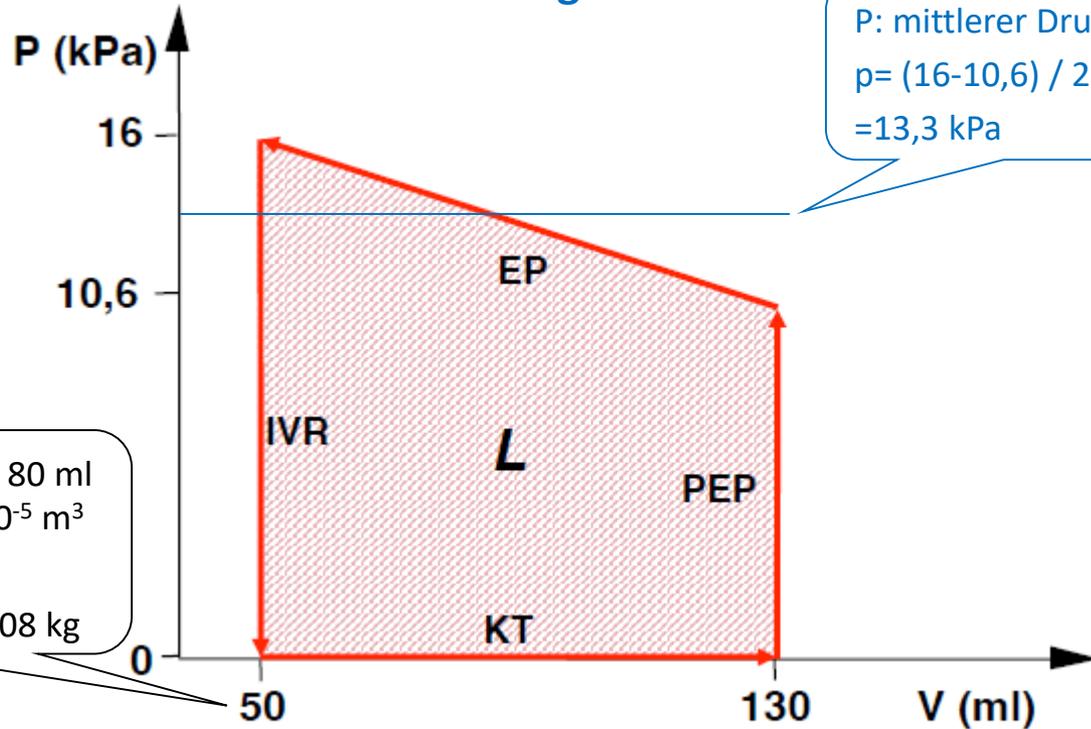
Der periphere Gesamtwiderstand ( $\frac{\overline{\Delta p}}{I}$ ) ist die Summe aller Widerständen. Er kann am effektivsten im Bereich der Arteriolen reguliert werden.

$$R_{\text{Strömung}} = \frac{8}{\pi} \eta \frac{\Delta l}{R^4}$$



# Arbeit des Herzens

Indikatordiagramm



Schlagvolumen =  $130 - 50 = 80 \text{ ml}$   
 $= 80 \text{ cm}^3 = 0,08 \text{ dm}^3 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$   
 (Blut)  
 $m = \rho \cdot V = 1 \cdot 80 = 80 \text{ g} = 0,08 \text{ kg}$

P: mittlerer Druck  
 $p = (16 - 10,6) / 2 + 10,6 = 13,3 \text{ kPa}$

Volumenarbeit  
 (statisch)

Beschleunigungsarbeit  
 (dynamisch)

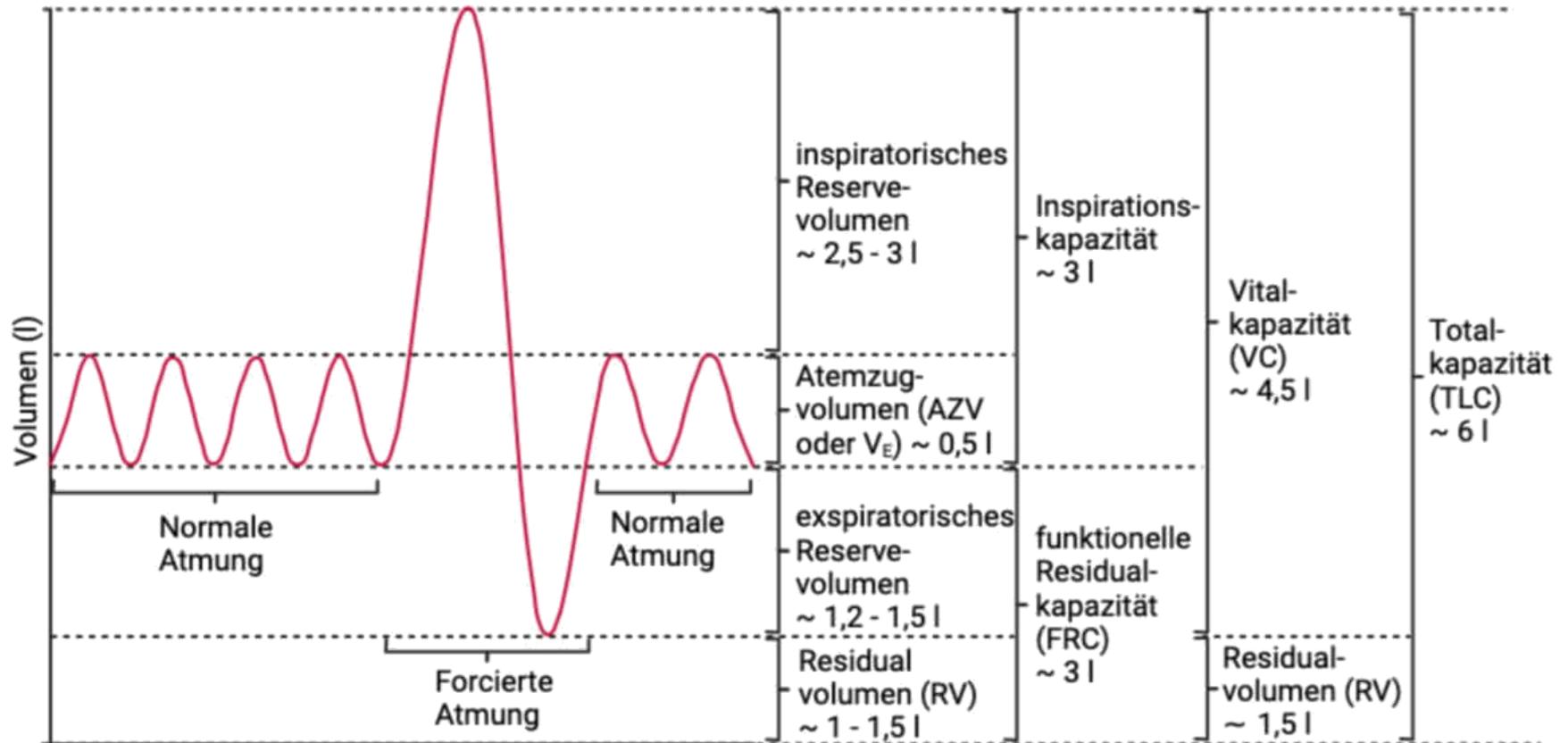
Strömungsgeschwindigkeit im  
 Aorta:  $v = 120 \text{ cm/s} \approx 1 \text{ m/s}$

$$W = p\Delta V + \frac{1}{2}mv^2$$

$$13,3 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2 \times 0,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 + \frac{1}{2} 0,08 \text{ kg} \times (1 \text{ m/s})^2 = 1,06 \text{ Nm} + 0,04 \text{ Nm} = \boxed{1,1 \text{ J}}$$

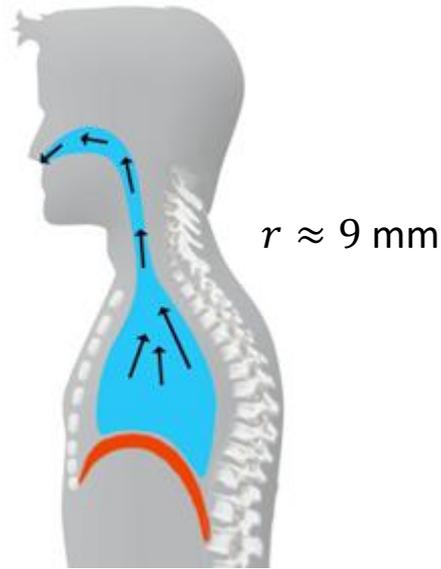
# Atmung

## Volumina



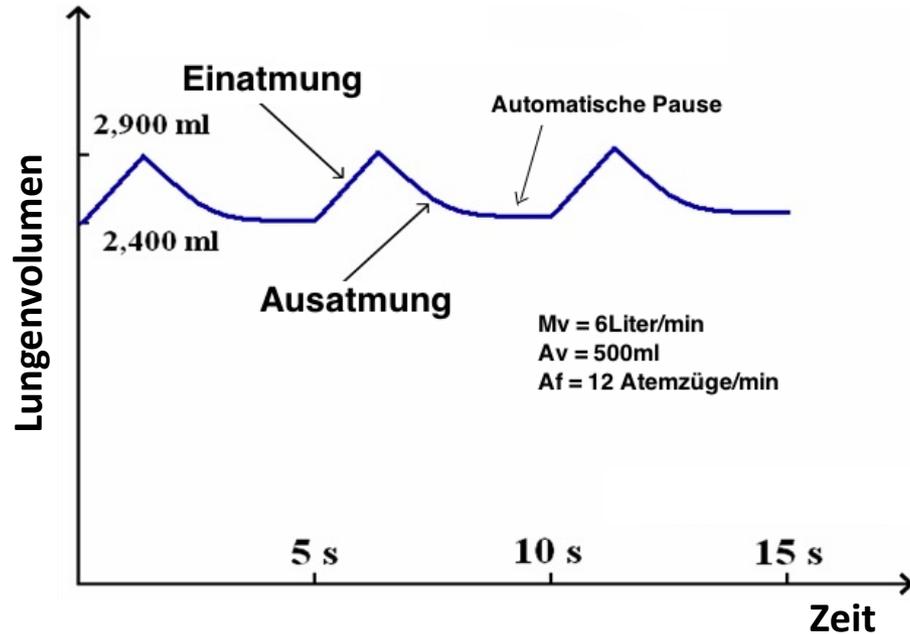
# Kontinuitätsgleichung bei der Atmung

- Volumenstromstärke und Strömungsgeschwindigkeit in der Luftröhre im Ruhezustand



Im Durchschnitt:

Atemminutenvolumen (AMV)  $\bar{I} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \approx 6 \frac{\text{Liter}}{\text{min}}$



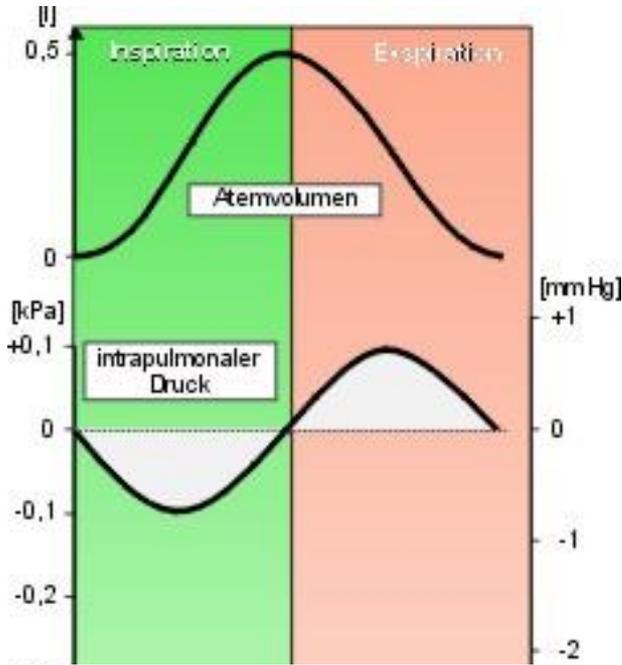
Maximal:

$I_{\max} =$

$v_{\max} =$

# Hagen-Poiseuille Gesetz bei der Atmung

- Ist das H-P-Gesetz anwendbar für die Atmung?



- inkompressible Luft?
- laminare Strömung?
- stationäre Strömung?
- newtonsches Gas?

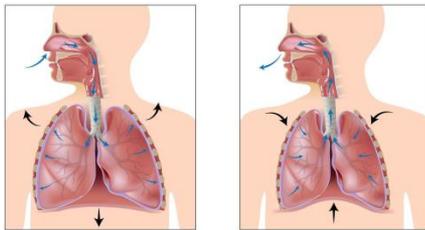


- Regulation der Volumenstromstärke laut des Hagen–Poiseuille-Gesetzes:

➤ Druck ( $\Delta p$ )

➤ **Intrapulmonaler Druck ( $\Delta p$ )** kann in einem Atemzyklus stark geändert werden:  
0,1 kPa – 0,5 kPa

➤ Der Durchschnittswert des intrapulmonalen Druckes ( $\overline{\Delta p}$ ) für die Einatmung kann durch die **Atemfrequenz** geändert werden:  
12 1/min – 40 1/min



➤ ~~Radius ( $R^4$ )~~

# Hausaufgaben

Aufgabensammlung

3.5 - 8

## Feedback