

Biophysikalische Grundlagen des Blutkreislaufes und der Atmung

Balázs Kiss

kissb3@gmail.com



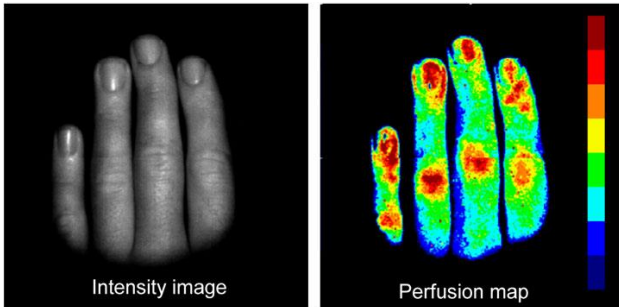
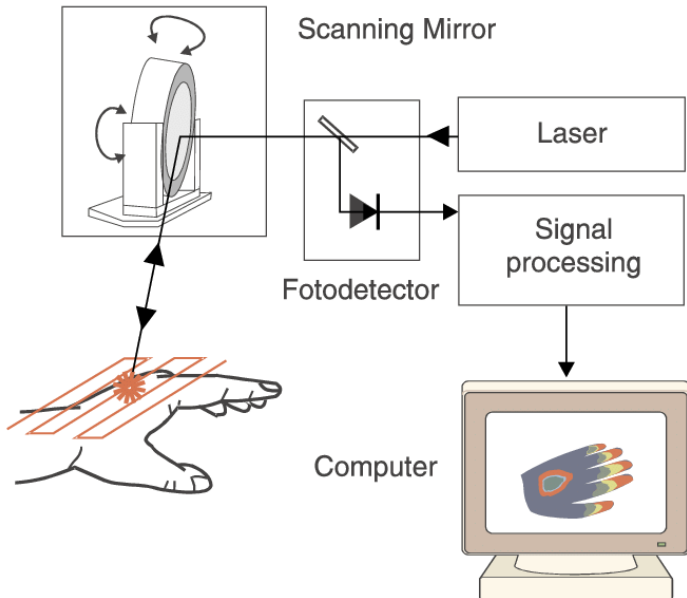
**KISSLAB - Myofilament-Mechanobiophysik Forschungsgruppe,
Semmelweis Universität,
Institut für Biophysik und Strahlenbiologie.**

04. April 2025.

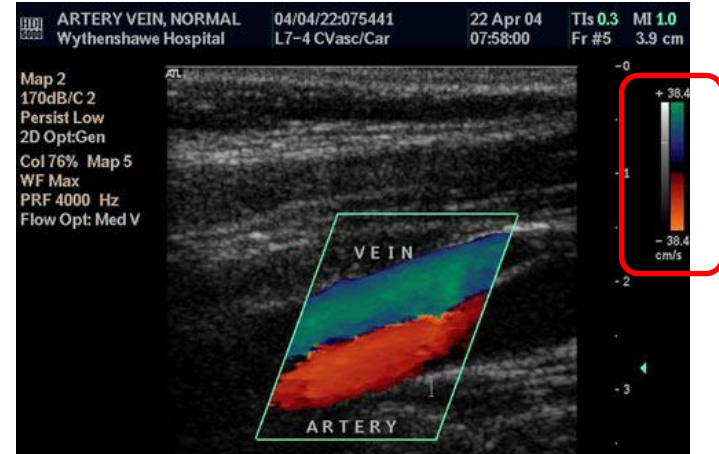
Messmethoden

Messmethoden der Volumenstromstärke:

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

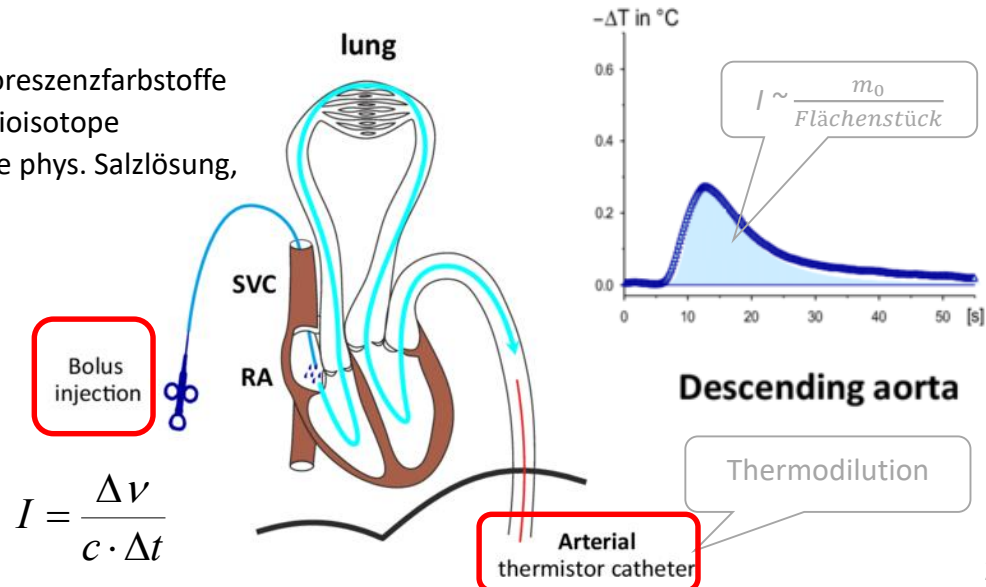


• Ultraschall-Doppler



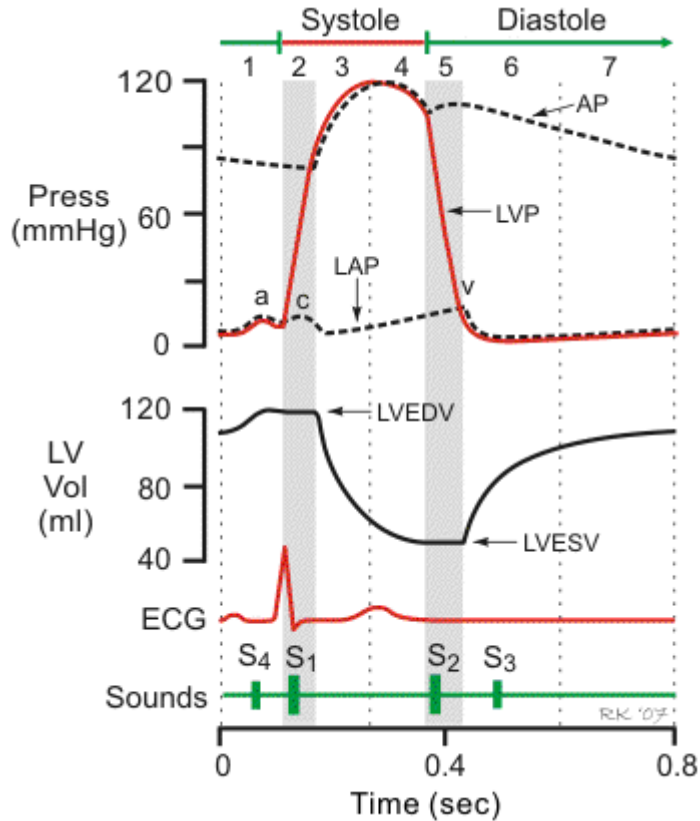
• Dilutionsmethoden

- 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:

$$I_{\max} =$$

$$v_{\max} =$$

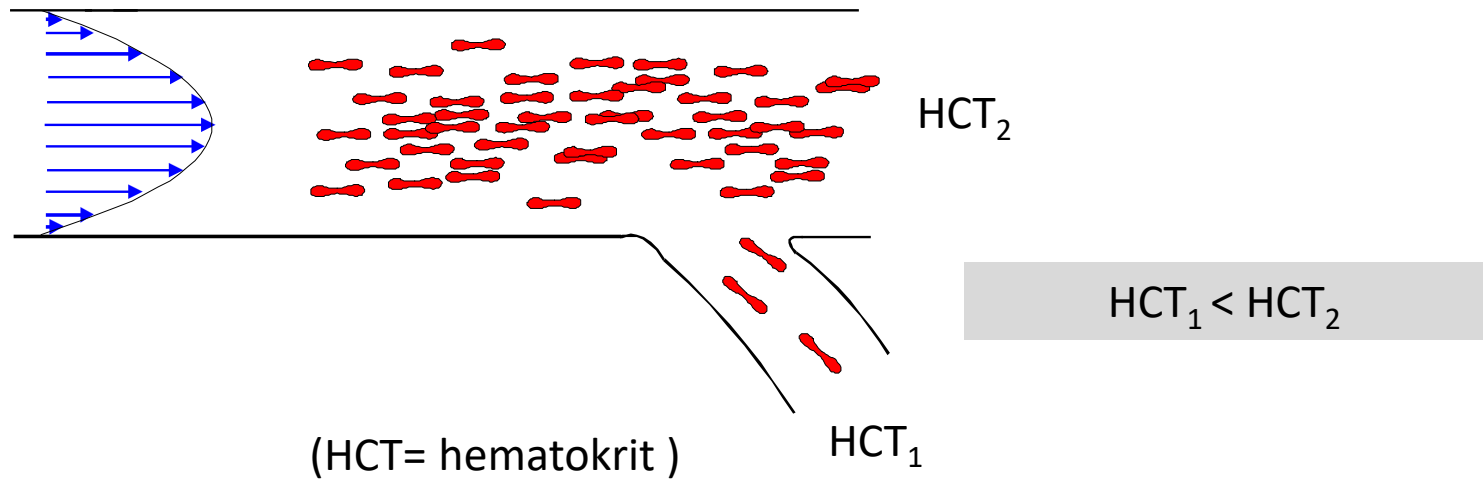
$$r \approx 12 \text{ mm}$$

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

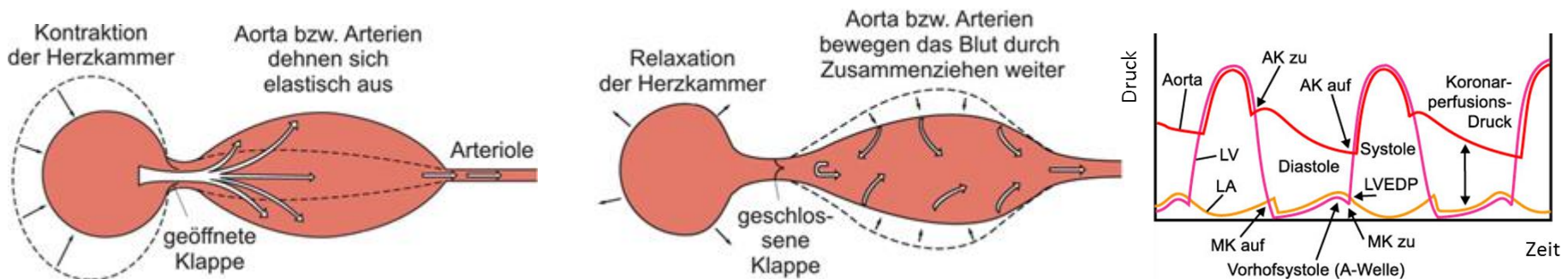
Biophysik beim Blutkreislauf

Plasma-Skimming

Parabolisches Geschwindigkeitsprofil + bernoullische Gleichung \Rightarrow



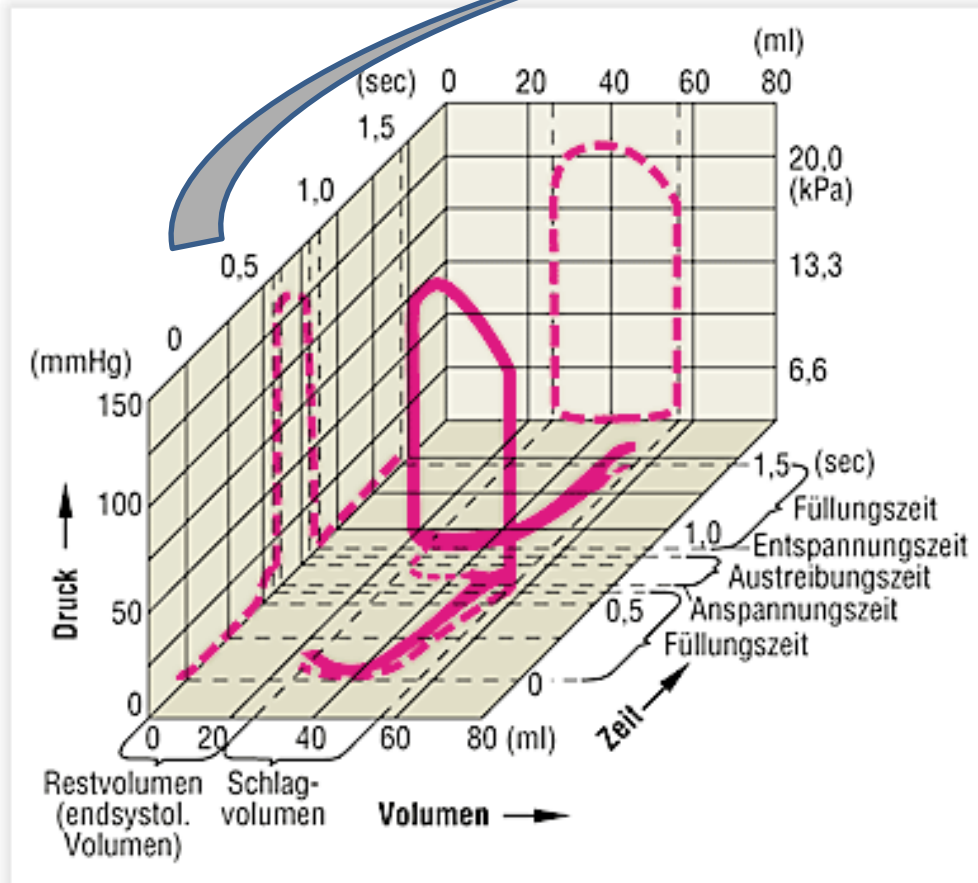
Rolle der Elastizität der Aorta und der Arterien (Windkesselfunktion)



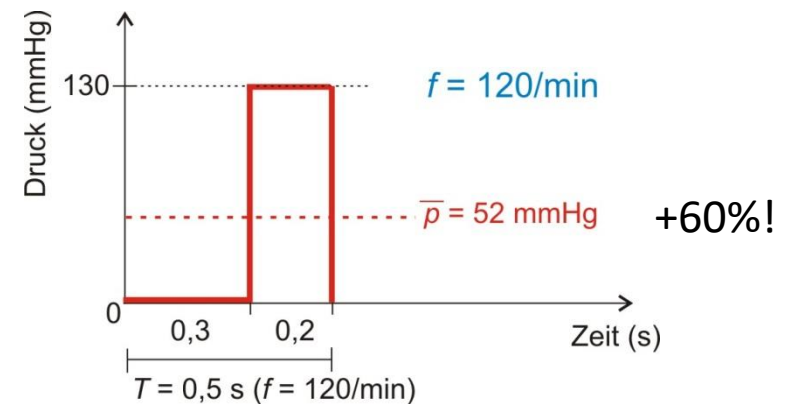
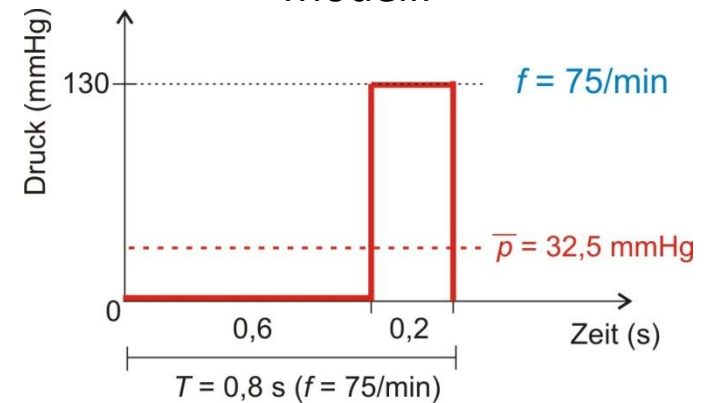
Hagen-Poiseuille-Gesetz beim Blutkreislauf

- Regulation der Volumenstromstärke laut Hagen-Poiseuille-Gesetzes:

➤ Druck (Δp)



Modell:

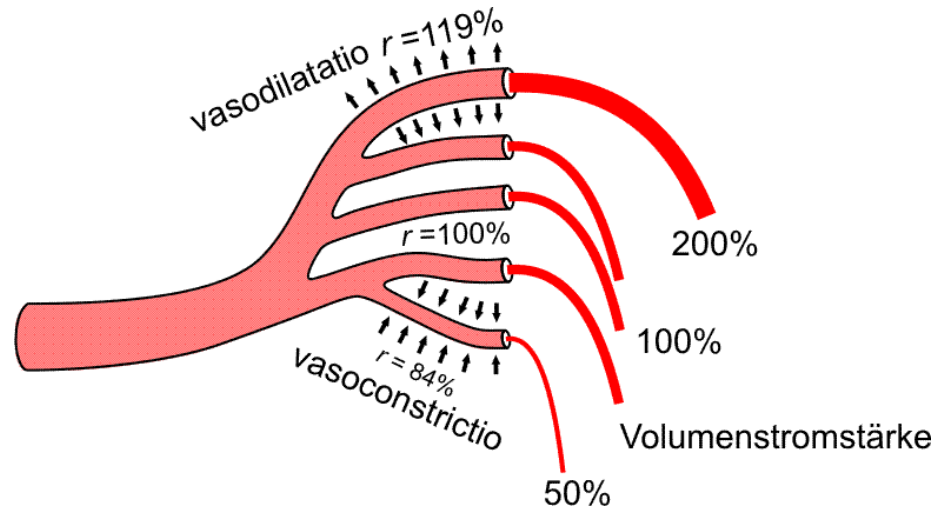


Der Durchschnittswert ($\bar{\Delta p}$) kann durch die Pulszahl geändert werden!

Hagen-Poiseuille-Gesetz beim Blutkreislauf

- Regulation der Volumenstromstärke laut Hagen-Poiseuille-Gesetzes:

➤ Radius (R^4 !)



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

„Strömungs-
widerstand“

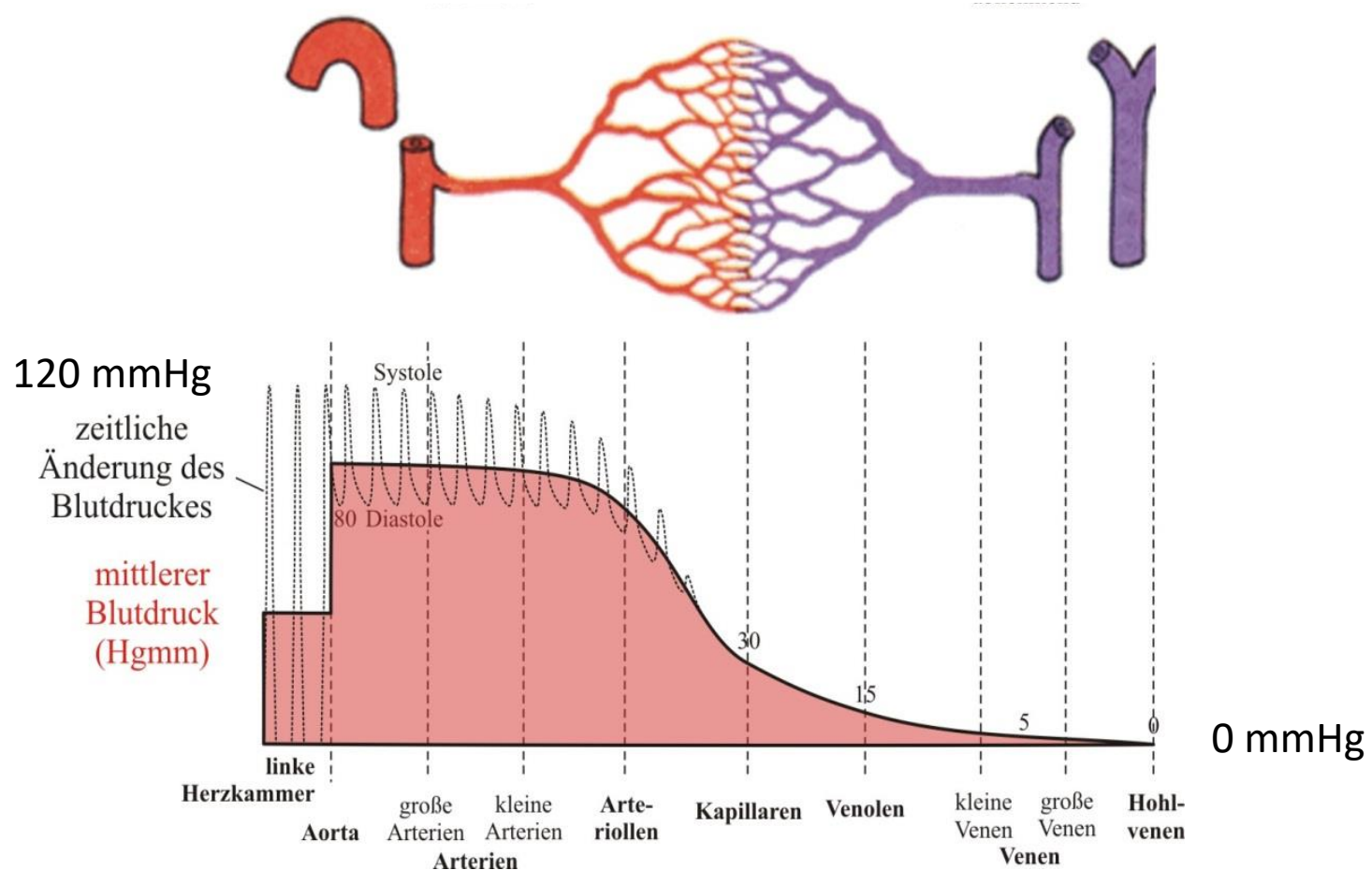
$$R_{\text{Strömung}} = \frac{8}{\pi} \eta \frac{\Delta l}{R^4}$$

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:

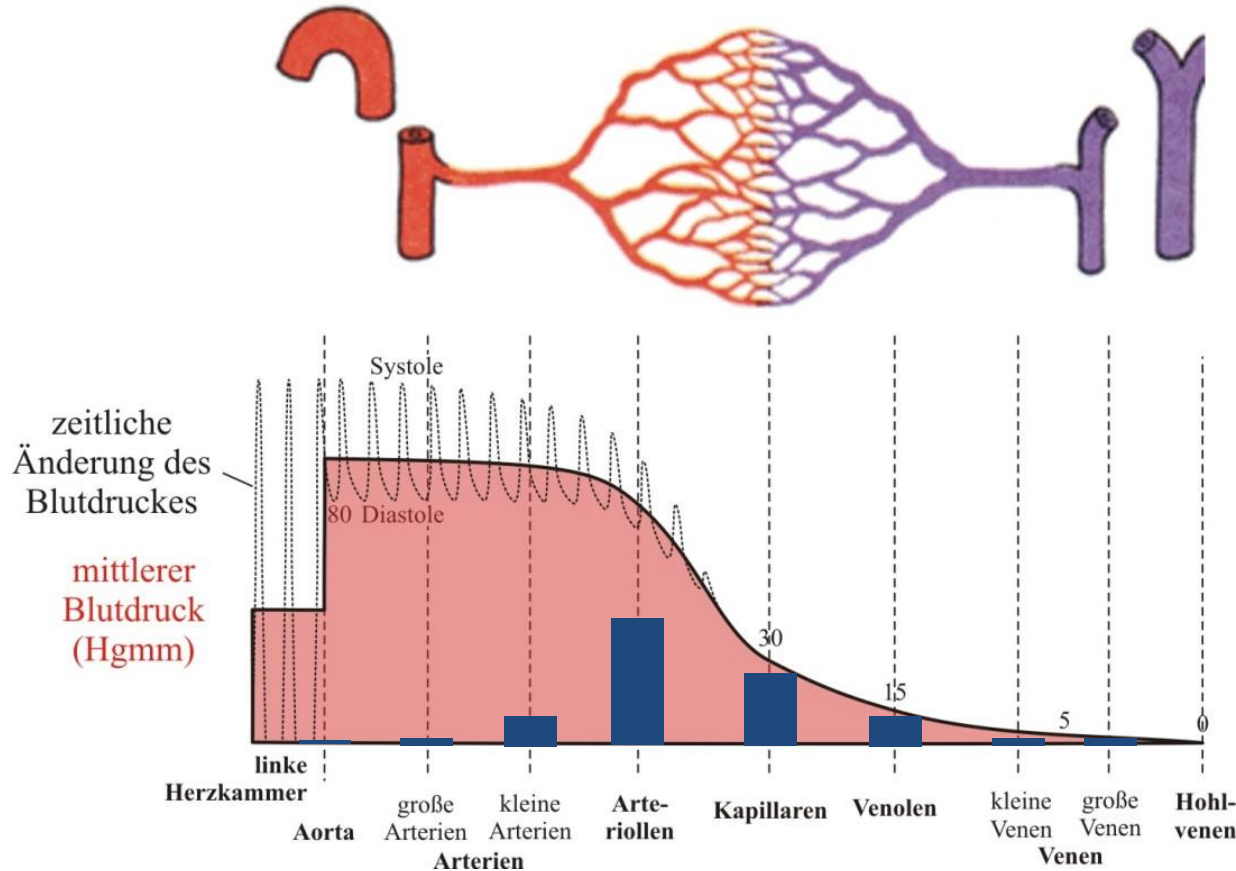
Durch Muskelkontraktion wird in dem linken Ventrikel (über dem atmosphärischen Druck (cca. 760 mmHg)) ein Überdruck erzeugt.

- 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

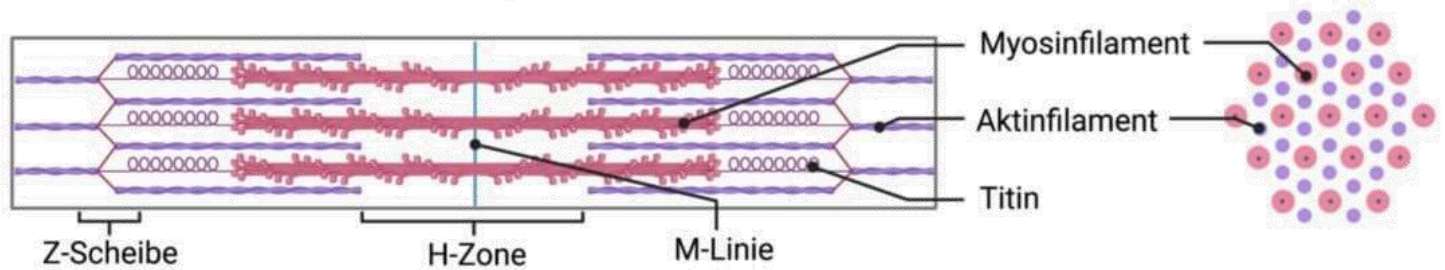
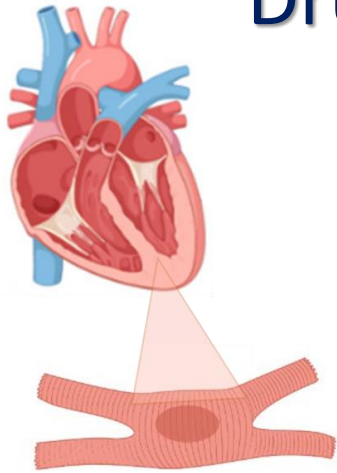
$$R_{\text{Strömung}} = \frac{8\eta}{R^2} \frac{\Delta l}{A}$$

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

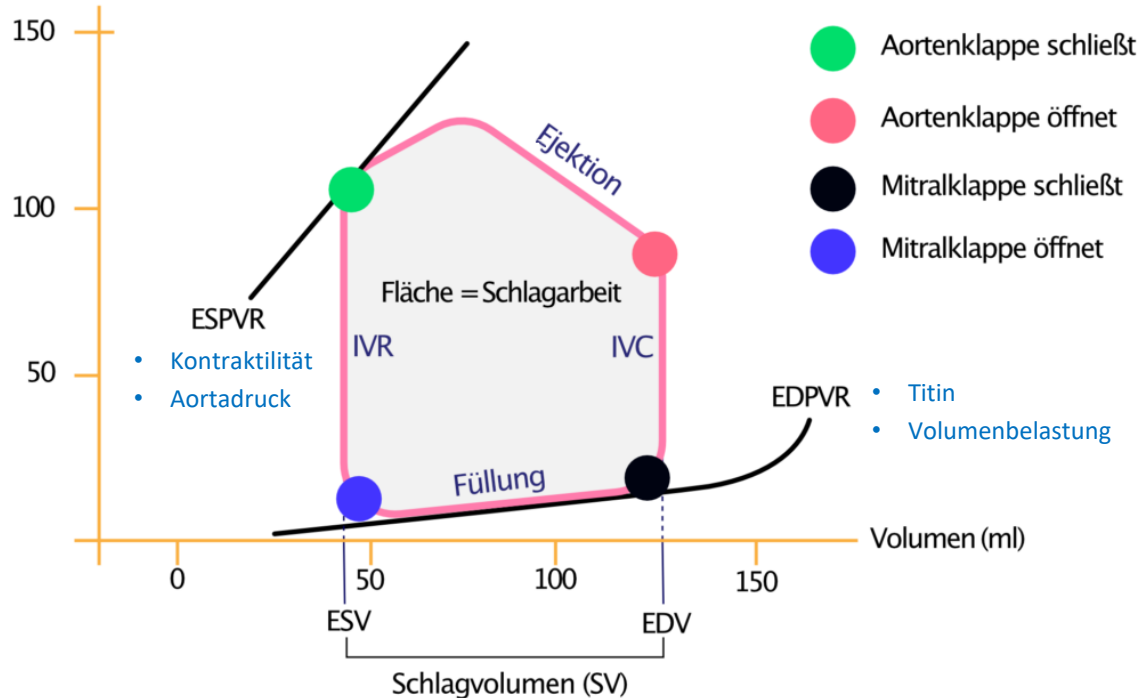
Der periphere Gesamtwiderstand ($\frac{\overline{\Delta p}}{I}$) ist die Summe aller Widerständen.
Er kann am effektivsten im Bereich der Arteriolen reguliert werden.

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

Druck-Volumen Beziehung des Herzens

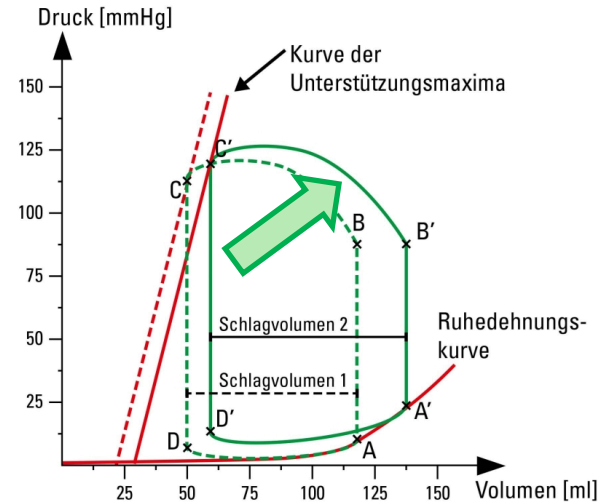


Druck (mmHg)



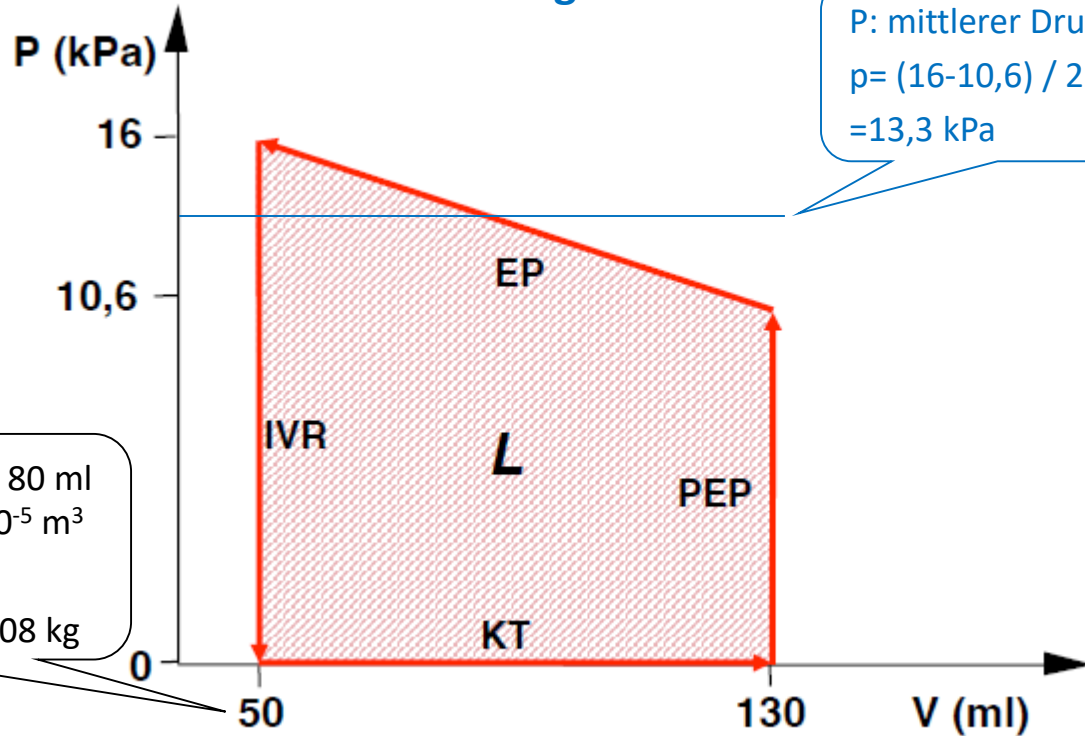
Frank-Starling Mechanismus

- kurzfristigen und automatisch ablaufenden Kompensationsmechanismus bei Volumen- oder Druckbelastung



Arbeit des Herzens

Indikatordiagramm



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

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

Volumenarbeit
 (statisch)

Beschleunigungsarbeit
 (dynamisch)

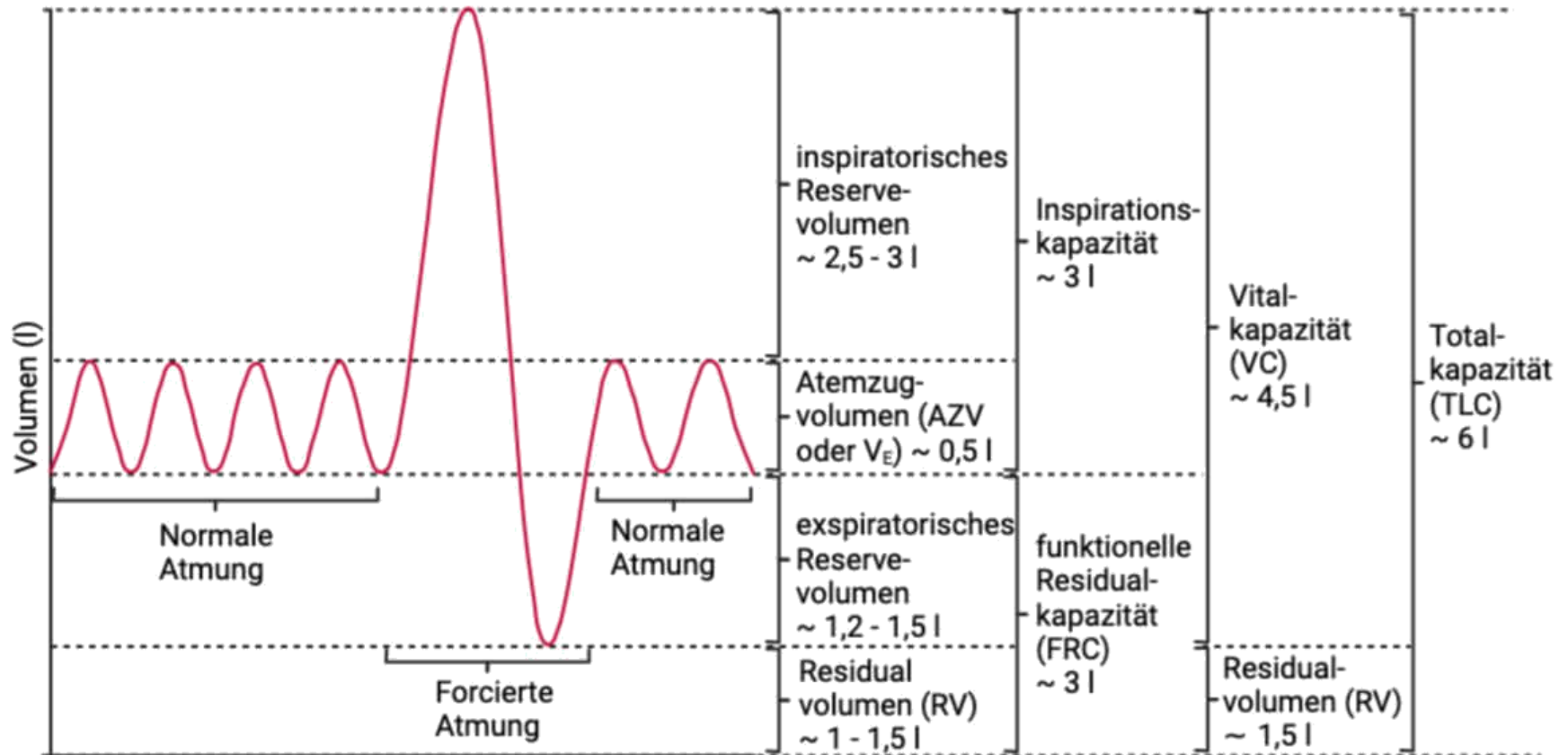
Strömungsgeschwindigkeit im
 Aorta: $v = 120 \text{ cm/s} \approx 1 \text{ m/s}$

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

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

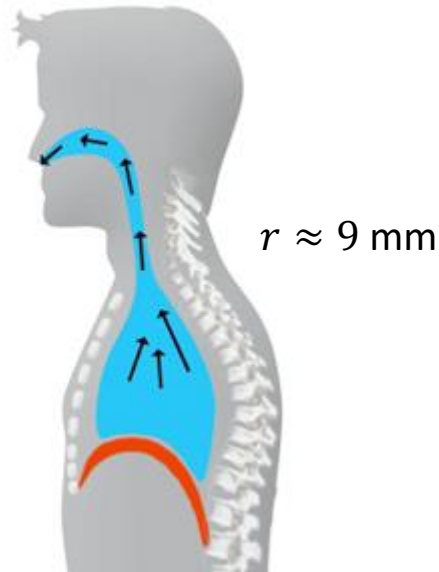
Atmung

Volumina

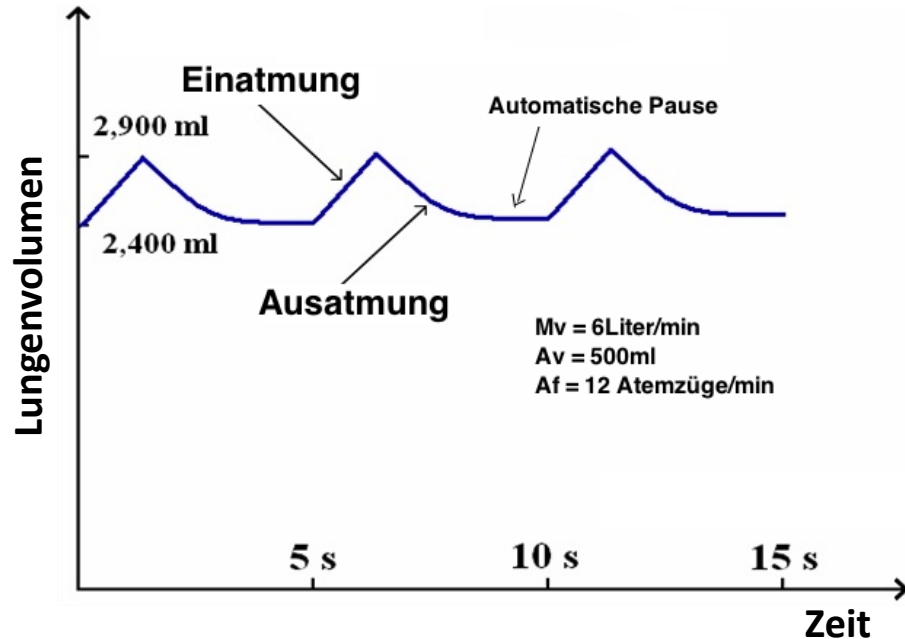


Kontinuitätsgleichung bei der Atmung

- Volumenstromstärke und Strömungsgeschwindigkeit in der Luftröhre im Ruhezustand



Im Durchschnitt:



Atemminutenvolumen (AMV)

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

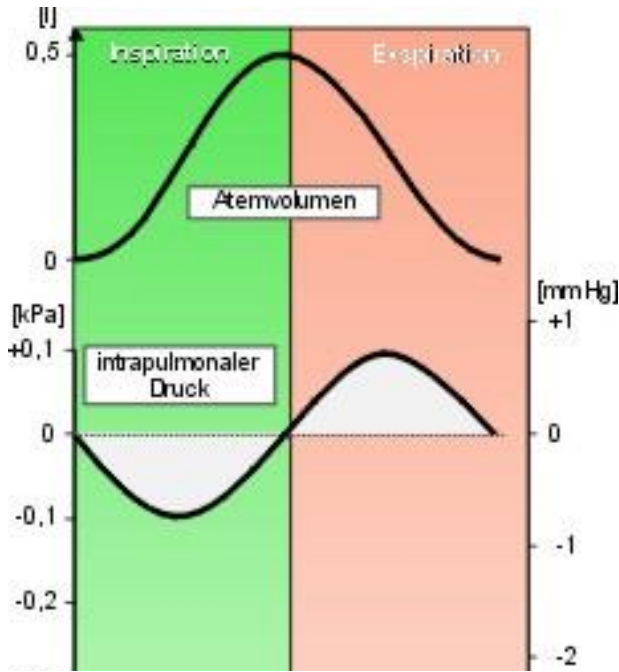
Maximal:

$$I_{\text{max}} =$$

$$v_{\text{max}} =$$

Hagen-Poiseuille Gesetz bei der Atmung

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



• inkompressible Luft?

• laminare Strömung?

• stationäre Strömung?

• newtonsches Gas?

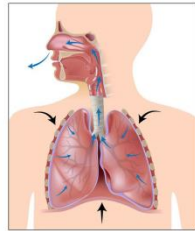
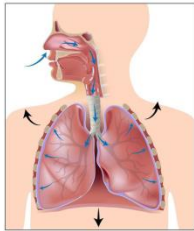


■ Regulation der Volumenstromstärke laut des Hagen–Poiseuille-Gesetzes:

➤ Druck (Δp)

➤ **Intrapulmonaler Druck (Δp)** 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