

Medizinische Biophysik

Transportprozesse

23.03.2020

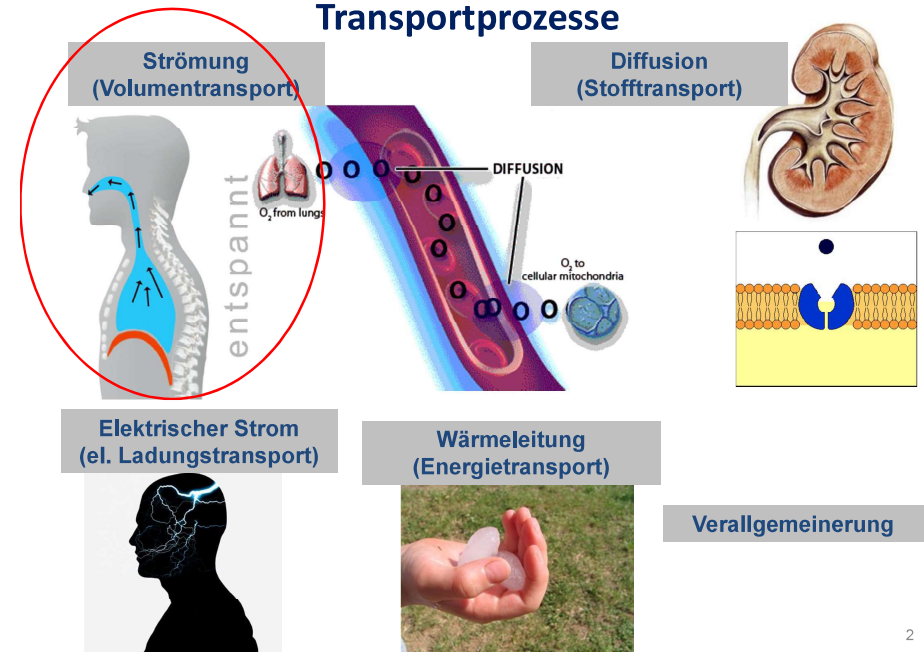
0. Überblick der Transportprozesse mit medizinischen Beispielen

I. Strömungen in Röhren (Volumentransport)

- Grundbegriffe**
 - Strömungsarten: laminare, turbulente
 - Volumenstromstärke, -dichte → Anwendung: **Atmung** (I und v)
 - Flüssigkeit: ideale, reelle
 - Blutströmung** (I und v , Messmethoden)
- Kontinuitätsgleichung** → Anwendung: **Blutkreislauf**
- Strömung von idealen Flüssigkeiten**
 - Geschwindigkeitsprofil
 - Bernoullische Gleichung
- Strömung von reellen Flüssigkeiten**
 - Newtonsches Reibungsgesetz
 - Viskosität → Anwendung: Viskosität von Körperflüssigkeiten

1

Transportprozesse

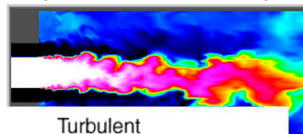


2

I. Strömung von Gasen und Flüssigkeiten in Röhren (Volumentransport)

1. Grundbegriffe

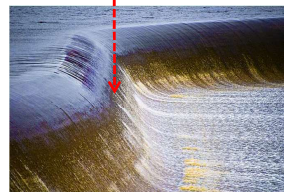
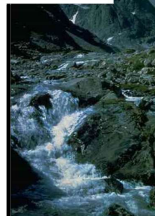
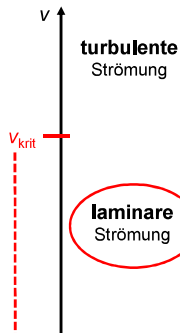
- Stromlinien
- Strömungsarten:



Turbulent



Laminar

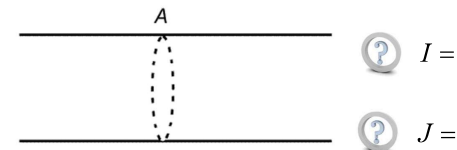


Allgemeine Gültigkeitsvoraussetzungen:

- inkompressible Gas/Flüssigkeit
- laminare Strömung

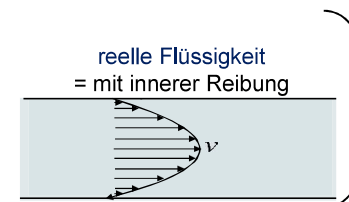
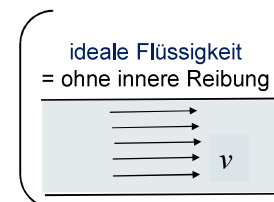
Im Weiteren werden Flüssigkeiten behandelt, die Begriffe und Gesetze gelten aber auch für Gase.

- Volumenstromstärke (I): $I = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$
- Volumenstromdichte (J): $J = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$ $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$



? $I =$

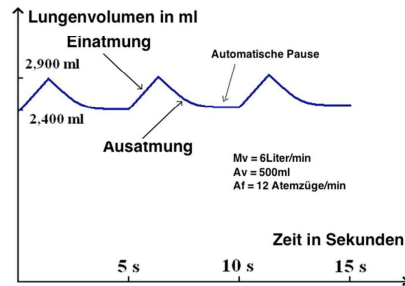
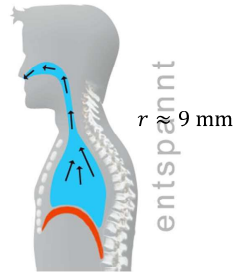
? $J =$



5

Anwendung: Atmung

- Volumenstromstärke und Strömungsgeschwindigkeit in der Luftröhre in Ruhe?



Im Durchschnitt:

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

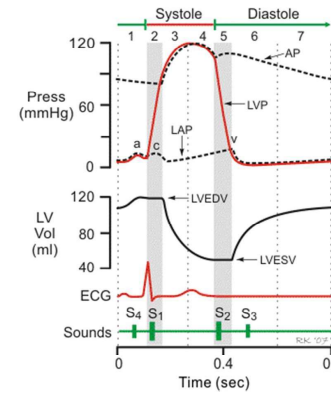
Maximal:

$$I_{\max} =$$

$$v_{\max} =$$

Anwendung: Blutströmung

- Volumenstromstärke und Strömungsgeschwindigkeit in der Aorta?



Im Durchschnitt:

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

$$\bar{v} =$$

Maximal:

$$I_{\max} =$$

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

$$v_{\max} =$$

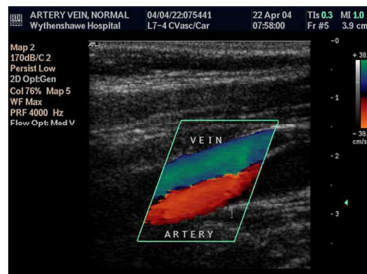
Anwendung: Blutströmung

- Messmethoden der Volumenstromstärke:

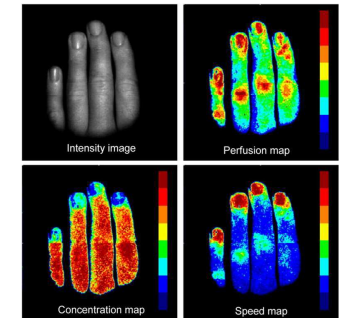
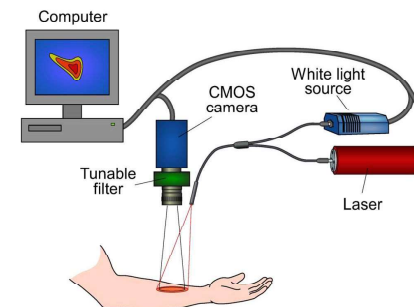
Impedanz-Methoden

(siehe im später bei elektrischen Vorgänge.)

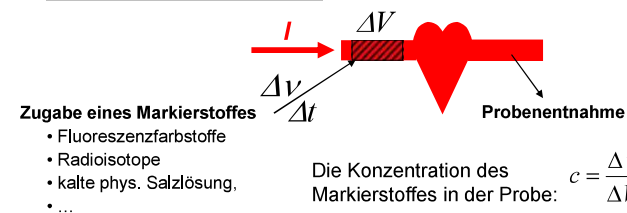
Ultraschall-Doppler



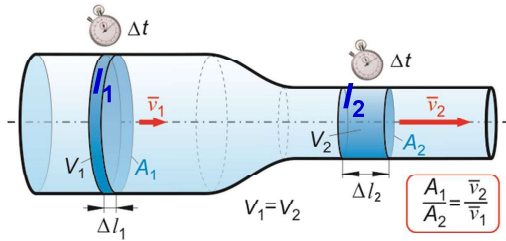
Laser-Doppler



Dilutionsmethoden



2. Kontinuitätsgleichung



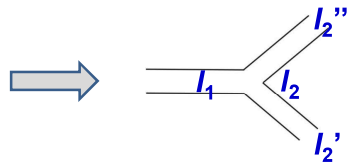
$$I_1 = I_2$$

$$A_1 \cdot \bar{v}_1 = A_2 \cdot \bar{v}_2$$

D. h. die Strömung wird in engeren Rohrabschnitten schneller und umgekehrt.

Die Gleichung gilt nur für:

- starres Rohr oder stationäre Strömung*
(* stationäre Strömung: in der Zeit sich nicht ändernde Strömung)



$$I_1 = I_2 = I_2' + I_2''$$

$$A_1 \cdot \bar{v}_1 = A_2' \cdot \bar{v}_2' + A_2'' \cdot \bar{v}_2''$$

(Siehe kirchhoffsche Knotenregel in der Elektrizitätslehre!)

10

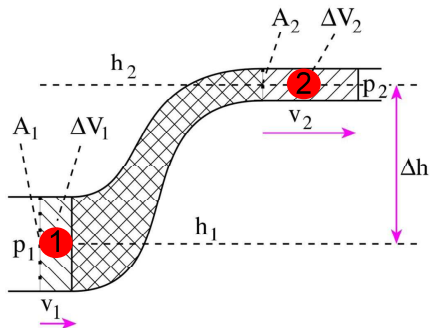
3. Strömung von idealen Flüssigkeiten

- Ideale Flüssigkeit: keine innere Reibung

- Geschwindigkeitsprofil:



- Bernoullische Gleichung:



Energieerhaltung \Rightarrow

$$p + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h = \text{konstant}$$

Die Gleichung gilt nur für:

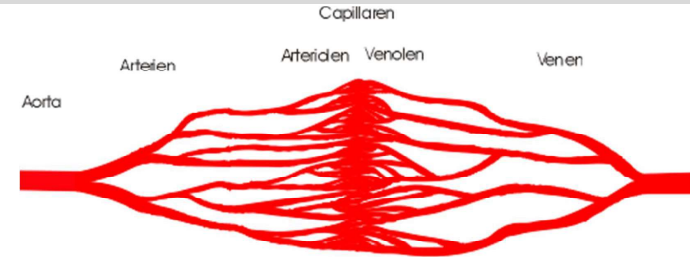
- starres Rohr oder stationäre Strömung
- ideale Flüssigkeit



Daniel Bernoulli
1700-1782
Mathematiker
Physiker
Anatom

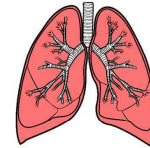
12

Kontinuitätsgleichung im Blutkreislauf



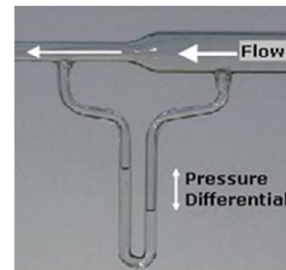
Gefäß	Aorta	Arterien	Arteriolen	Kapillaren	Venolen	Venen	Hohlvenen
A (cm²)	4,5	20	400	4500	4000	40	18
v (cm/s)	23	5	0,25	0,022	0,025	2,5	6

Kontinuitätsgleichung bei der Atmung

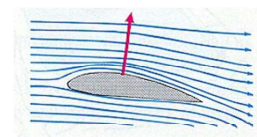


11

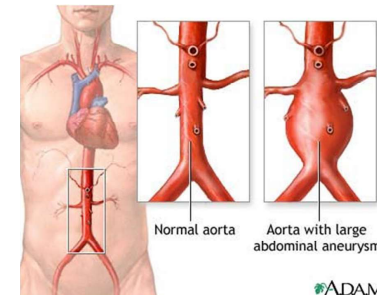
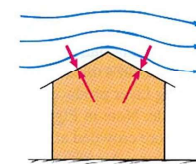
Anwendungen der bernoullischen Gleichung



Siehe: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/58/Venturi_Tube_en.webm



Experiment



ADAM.

13