

# Medizinische Biophysik

## Transportprozesse

23.03.2020

### 0. Überblick der Transportprozesse mit medizinischen Beispiele

#### I. Strömungen in Röhren (Volumentransport)

**1. Grundbegriffe** Strömungsarten: laminare, turbulente  
 Volumenstromstärke, -dichte → Anwendung: **Atmung** ( $I$  und  $v$ )  
 Flüssigkeit: ideale, reelle → Anwendung: **Blutströmung** ( $I$  und  $v$ , Messmethoden)

**2. Kontinuitätsgleichung** → Anwendung: **Blutkreislauf**

**3. Strömung von idealen Flüssigkeiten**

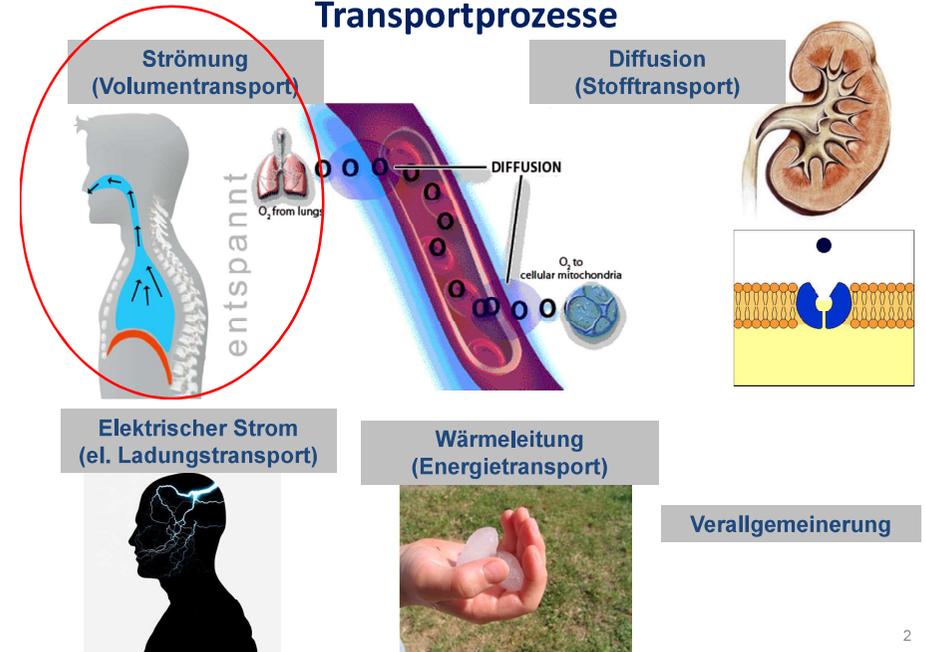
- Geschwindigkeitsprofil
- Bernoullische Gleichung

**4. Strömung von reellen Flüssigkeiten**

- Newtonsches Reibungsgesetz
- Viskosität → Anwendung: Viskosität von Körperflüssigkeiten

1

## Transportprozesse



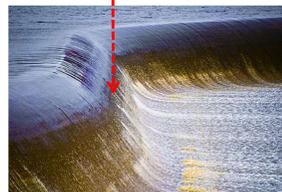
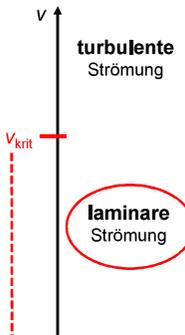
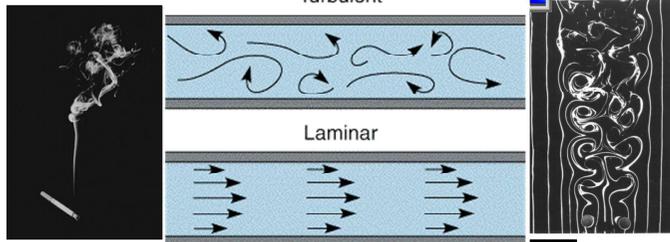
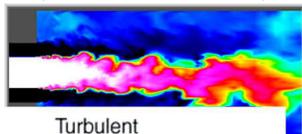
2

### I. Strömung von Gasen und Flüssigkeiten in Röhren

#### (Volumentransport)

#### 1. Grundbegriffe

- Stromlinien
- Strömungsarten:



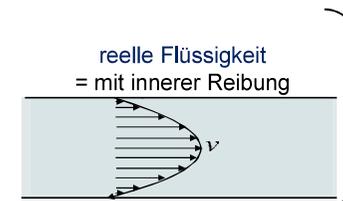
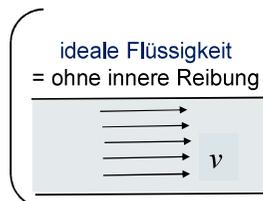
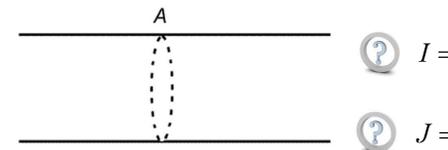
Allgemeine Gültigkeitsvoraussetzungen: • inkompressible Gas/Flüssigkeit

- laminare Strömung

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

▪ Volumenstromstärke ( $I$ ):  $I = \frac{\Delta V}{\Delta t}$   $\left( \frac{m^3}{s} \right)$

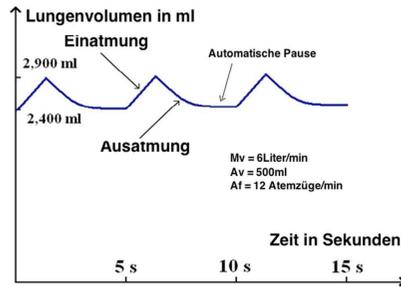
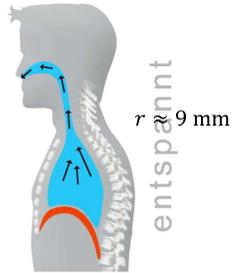
▪ Volumenstromdichte ( $J$ ):  $J = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$   $\left( \frac{m}{s} \right)$



5

## Anwendung: Atmung

- Volumenstromstärke und Strömungsgeschwindigkeit in der Luftröhre in Ruhe?



Im Durchschnitt:

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

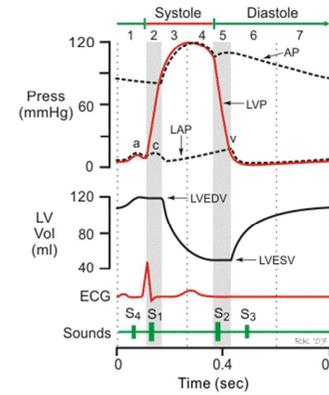
Maximal:

$$I_{\max} =$$

$$v_{\max} =$$

## Anwendung: Blutströmung

- Volumenstromstärke und Strömungsgeschwindigkeit in der Aorta?



Im Durchschnitt:

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

$$\bar{v} =$$

Maximal:

$$I_{\max} =$$

$$v_{\max} =$$

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

6

7

## Anwendung: Blutströmung

- Messmethoden der Volumenstromstärke:

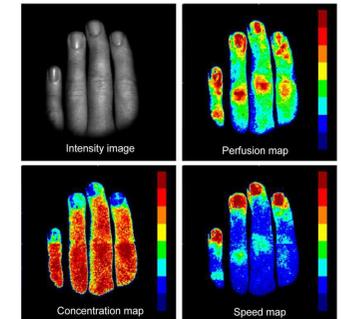
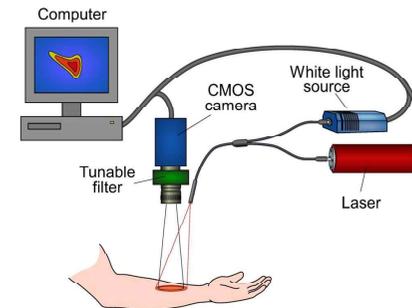
Impedanz-Methoden

(siehe im später bei elektrischen Vorgänge.)

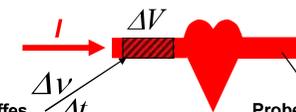
Ultraschall-Doppler



Laser-Doppler



Dilutionsmethoden



Zugabe eines Markierstoffes

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

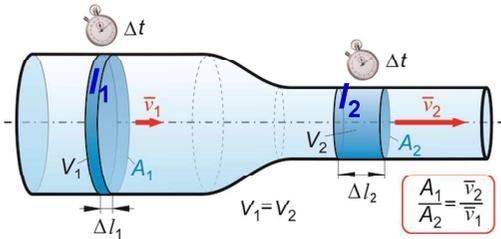
Probenentnahme

Die Konzentration des Markierstoffes in der Probe:  $c = \frac{\Delta v}{\Delta V} = \frac{\Delta v}{I \cdot \Delta t} \Rightarrow I = \frac{\Delta v}{c \cdot \Delta t}$

8

9

## 2. Kontinuitätsgleichung



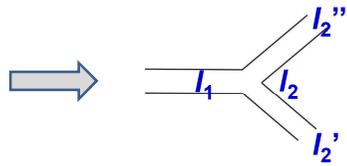
$$I_1 = I_2$$

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

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)



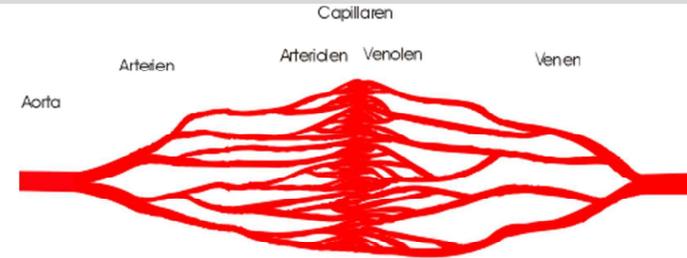
$$I_1 = I_2 = I_2' + I_2''$$

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

(Siehe kirchhoffsche Knotenregel in der Elektrizitätslehre!)

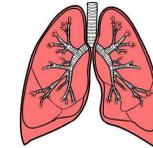
10

## Kontinuitätsgleichung im Blutkreislauf



Gefäß	Aorta	Arterien	Arteriolen	Kapillaren	Venolen	Venen	Hohlvenen
A (cm <sup>2</sup> )	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

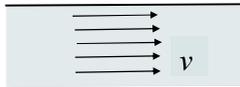


11

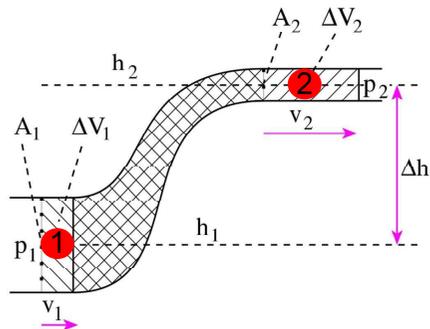
## 3. Strömung von idealen Flüssigkeiten

- Ideale Flüssigkeit: keine innere Reibung

- Geschwindigkeitsprofil:



- Bernoullische Gleichung:



Energieerhaltung  $\Rightarrow$

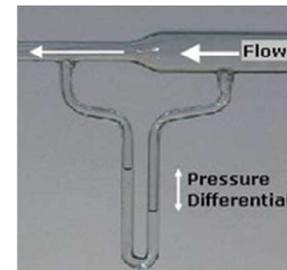
$$p + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h = \text{konstant}$$

Die Gleichung gilt nur für:

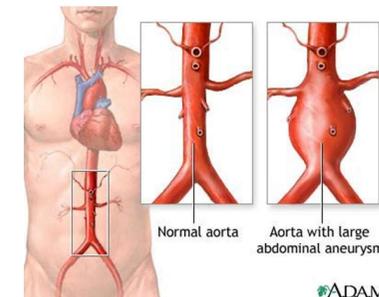
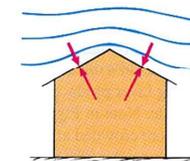
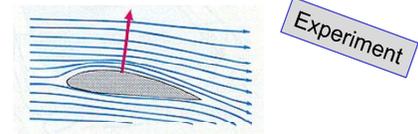
- starres Rohr *oder* stationäre Strömung
- ideale Flüssigkeit

12

## Anwendungen der bernoullischen Gleichung



Siehe: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/58/Venturi\\_Tube\\_en.webm](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/58/Venturi_Tube_en.webm)



ADAM.

13