

Medizinische Biophysik 2018. 04. 04.

Transportprozesse

0. Grundkenntnisse der E-Lehre (Prüfungsstoff aus dem Grundschrift)

Grundschrift Kapitel 10 und 11

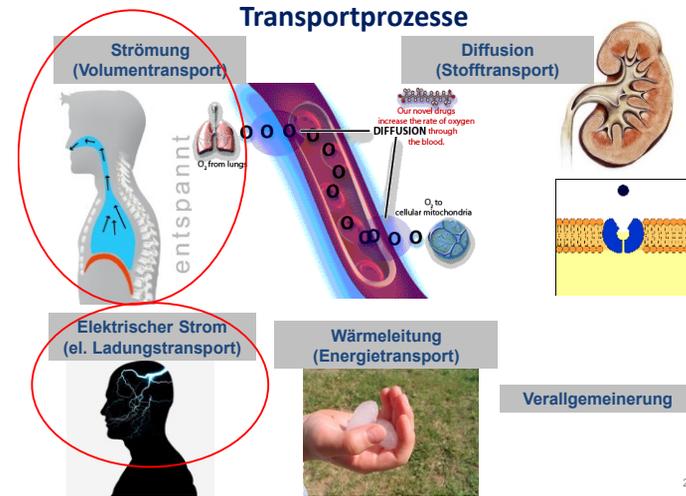
I. Elektrischer Strom (el. Ladungstransport)

- Grundbegriffe** Elektrische Stromstärke, -dichte
- Transportgesetz = ohmsches Gesetz**
- Anwendungen** Auf Widerstandsmessung (Impedanzmessung) basierende Techniken (IPG, IKG, EIT, ...)

II. 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

1



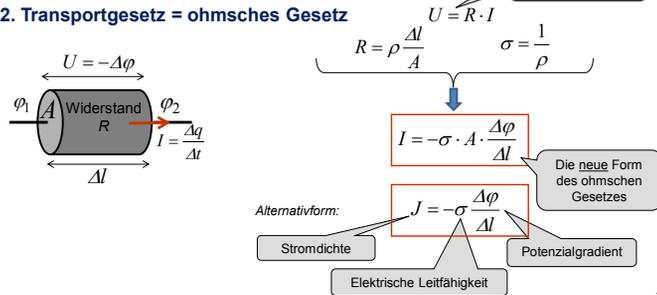
2

I. Elektrischer Strom (el. Ladungstransport)

1. Grundbegriffe

- Elektrische Stromstärke (I): $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ (A)
- Elektrische Stromdichte (J): $J = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$ $\left(\frac{A}{m^2}\right)$
- stationärer Strom: zeitlich konstant

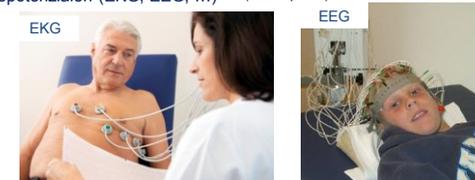
2. Transportgesetz = ohmsches Gesetz



3

3. Anwendungen Diagnostik

- Messung von Biopotenzialen (EKG, EEG, ...) (siehe später!)

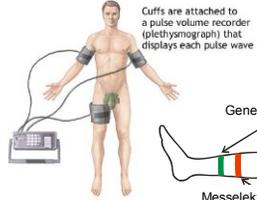


- Auf Widerstandsmessung (Impedanzmessung) basierende Techniken

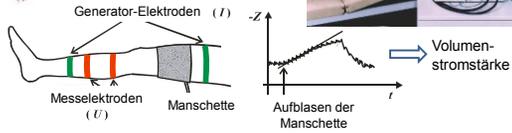
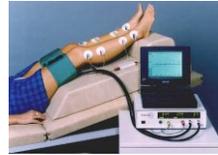
| Gewebe | σ (mS/m) | ρ (Ωm) |
|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Blut | 700 | 1,4 |
| graue Hirnmasse | 300 | 3,3 |
| weiße Hirnmasse | 150 | 6,7 |
| Haut | 100 | 10 |
| Fett | 40 | 25 |
| Knochen | 10 | 100 |



Impedanzplethysmographie (IPG)



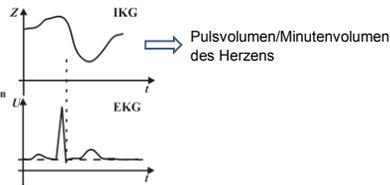
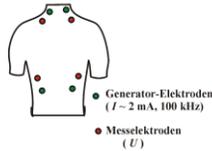
Untersuchung der Blutströmung in den Extremitäten



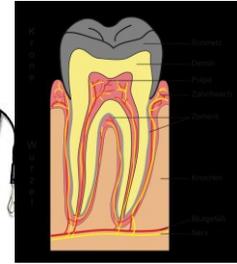
Impedanzkardiographie (IKG)

Untersuchung der Herzfunktion

Impedanzkardiographie (IKG)



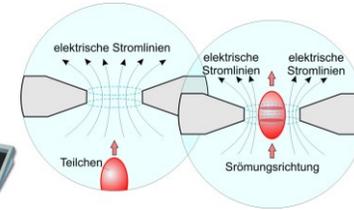
Apex-Locator



Lügendetektor



Coulter-Zähler



- Therapie (siehe später!)

Galvanisation / Iontophorese



Wärmetherapie



Elektrochirurgie



Elektroreizung in der Physiotherapie



Herzschrittmacher



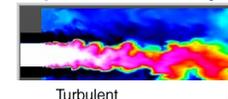
Defibrillator



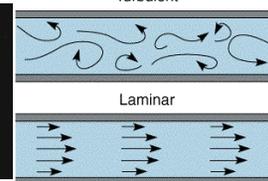
II. Strömung von Gasen und Flüssigkeiten in Röhren (Volumentransport)

1. Grundbegriffe

- Stromlinien
- Strömungsarten:



Turbulent



Laminar

turbulente Strömung

V_{krit}
laminare Strömung

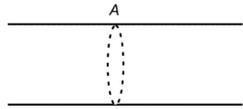


Allgemeine Gültigkeitsvoraussetzungen: • inkompressible Gas/Flüssigkeit
• laminare Strömung

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

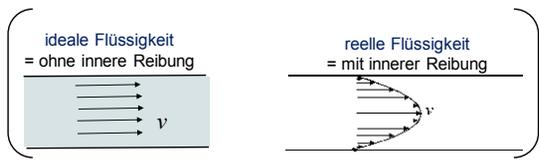
Volumenstromstärke (I): $I = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$

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



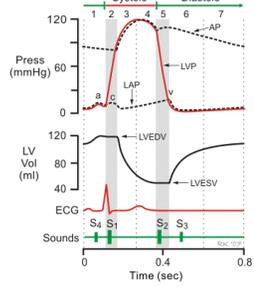
$I =$

$J =$



Anwendung: Blutströmung

- Volumenstromstärke und Strömungsgeschwindigkeit in der Aorta?



Im Durchschnitt:

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

$\bar{v} =$

Maximal:

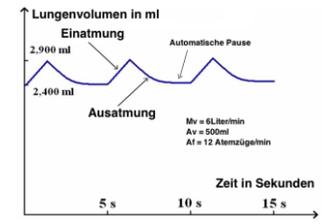
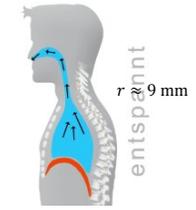
$I_{\text{max}} =$

$v_{\text{max}} =$

$r \approx 12 \text{ mm}$

Anwendung: Atmung

- Volumenstromstärke und Strömungsgeschwindigkeit in der Luftröhre in Ruhe?



Im Durchschnitt:

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

$\bar{v} =$

Maximal:

$I_{\text{max}} =$

$v_{\text{max}} =$

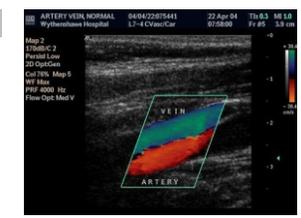
Anwendung: Blutströmung

- Messmethoden der Volumenstromstärke:

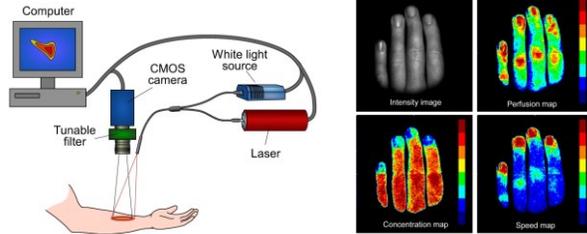
Impedanz-Methoden

(siehe im Abschnitt I.)

Ultraschall-Doppler



□ Laser-Doppler



□ Dilutionsmethoden

Zugabe eines Markerstoffes

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

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

Probenentnahme

13

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)

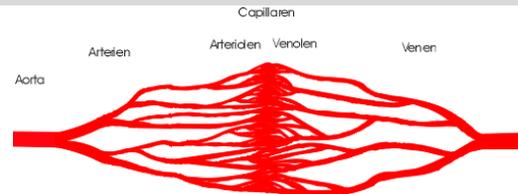
$$I_1 = I_2 = I_2' + I_2''$$

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

(Siehe kirchhofsche Knotenregel in der Elektrizitätslehre!)

14

Kontinuitätsgleichung im Blutkreislauf



| Gefäß | Aorta | Arterien | Arteriolen | Kapillaren | Venolen | Venen | Hohlvenen |
|----------------------|-------|----------|------------|------------|---------|-------|-----------|
| A (cm ²) | 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



15

3. Strömung von idealen Flüssigkeiten

- Ideale Flüssigkeit: keine innere Reibung
 - Geschwindigkeitsprofil:
-
- Bernoullische Gleichung:



Daniel Bernoulli
1700-1782
Mathematiker
Physiker
Anatom

Energieerhaltung \Rightarrow

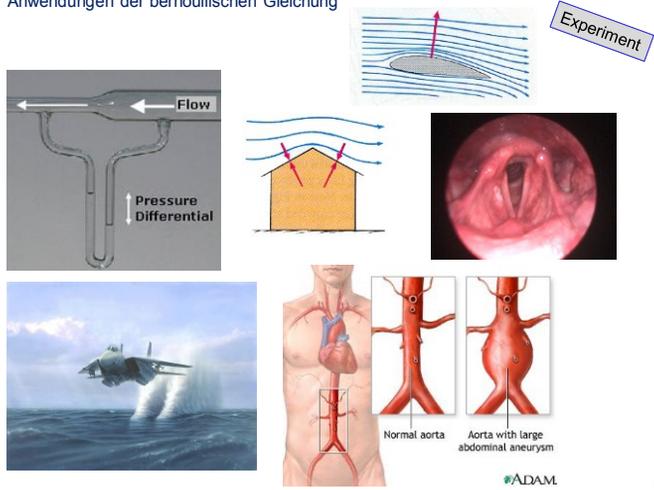
$$p + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h = \text{konstant}$$

Die Gleichung gilt nur für:

- starres Rohr **oder** stationäre Strömung
- ideale Flüssigkeit

16

Anwendungen der bernoullischen Gleichung



17