

Medizinische Biophysik 2018. 04. 04.

Transportprozesse

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

Grundschrift Kapitel 10 und 11

I. Elektrischer Strom (el. Ladungstransport)

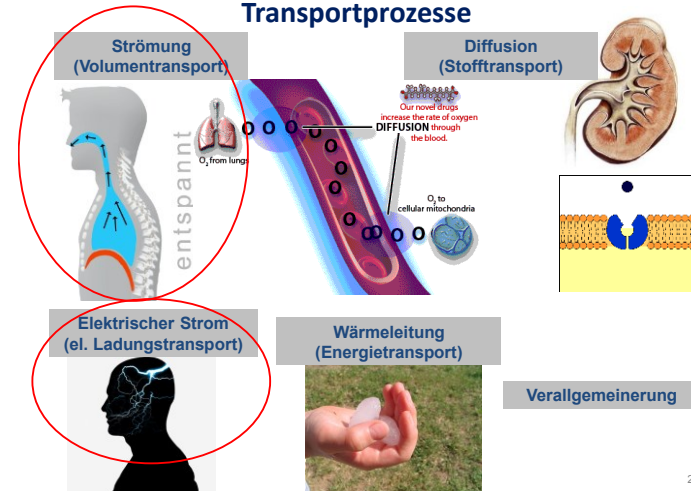
- Grundbegriffe** Elektrische Stromstärke, -dichte
- Transportgesetz = ohmsches Gesetz**
- Anwendungen** Auf Widerstandsmessung (Impedanzmessung) basierende Techniken (IPG, IKG, EIT,)

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

Transportprozesse



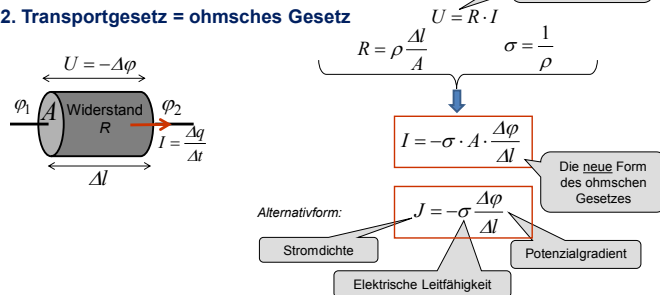
2

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

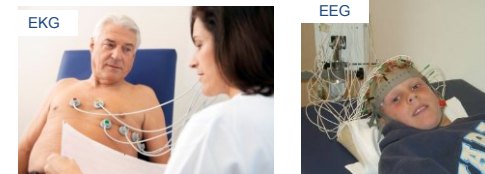
2. Transportgesetz = ohmsches Gesetz



3

3. Anwendungen Diagnostik

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

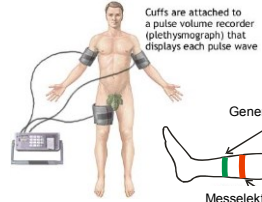


- Auf Widerstandsmessung (Impedanzmessung) basierende Techniken

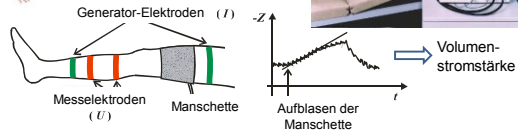
Gewebe	σ (mS/m)	ρ (Ωm)
Blut	700	1,4
graue Hirnmasse	300	3,3
weiße Hirnmasse	150	6,7
Haut	100	10
Fett	40	25
Knochen	10	100



Impedanzplethysmographie (IPG)



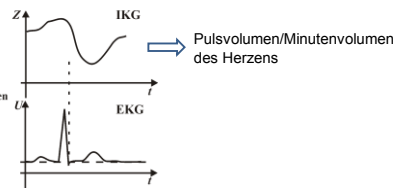
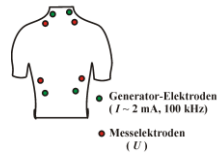
Untersuchung der Blutströmung in den Extremitäten



Impedanzkardiographie (IKG)

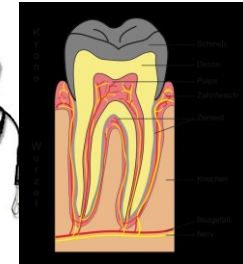
Untersuchung der Herzfunktion

Impedanzkardiographie (IKG)



5

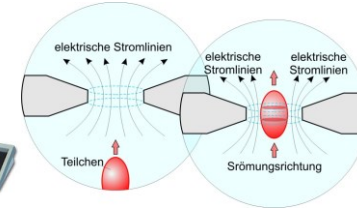
Apex-Locator



Lügendetektor



Coulter-Zähler



6

Therapie (siehe später!)

Galvanisation / Iontophorese



Wärmetherapie



Elektrochirurgie



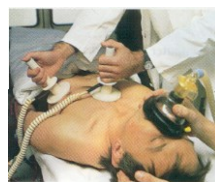
Elektroreizung in der Physiotherapie



Herzschrittmacher



Defibrillator

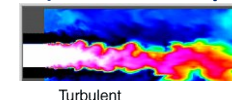


7

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

1. Grundbegriffe

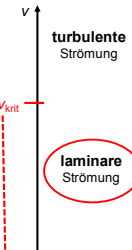
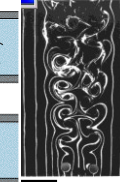
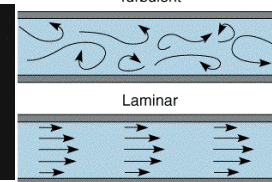
- Stromlinien
- Strömungsarten:



Turbulent



Laminar

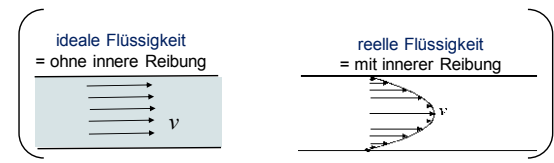
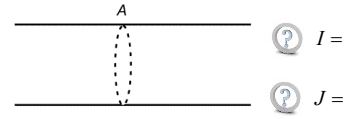


Allgemeine Gültigkeitsvoraussetzungen: • inkompressible Gas/Flüssigkeit
• laminare Strömung

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

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

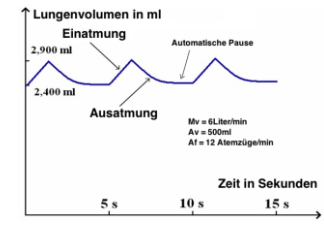
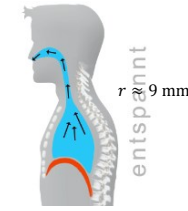
Volumenstromdichte (J): $J = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t} \quad \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$



9

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:

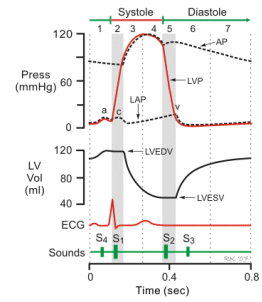
$$I_{\text{max}} =$$

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

10

Anwendung: Blutströmung

- Volumenstromstärke und Strömungsgeschwindigkeit in der Aorta?



Im Durchschnitt:

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

$$\bar{v} =$$

Maximal:

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

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

$r \approx 12 \text{ mm}$

11

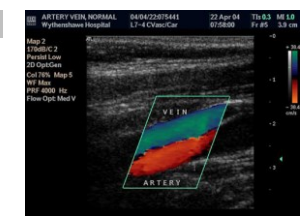
Anwendung: Blutströmung

- Messmethoden der Volumenstromstärke:

☐ Impedanz-Methoden

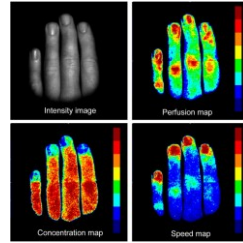
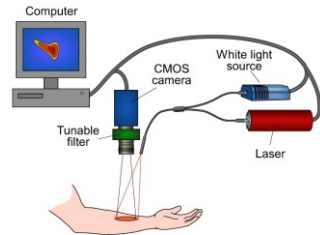
(siehe im Abschnitt I.)

☐ Ultraschall-Doppler

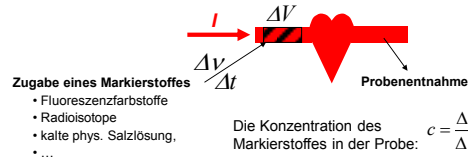


12

Laser-Doppler

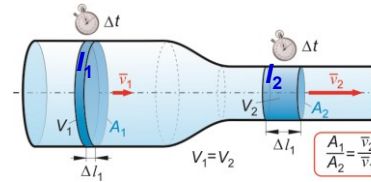


Dilutionsmethoden



13

2. Kontinuitätsgleichung



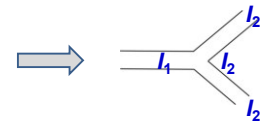
$$I_1 = I_2$$

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

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)



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

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

(Siehe kirchhoffsche Knotenregel in der Elektrizitätslehre!)

14

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



15

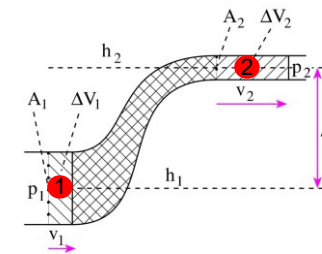
3. Strömung von idealen Flüssigkeiten

- 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:

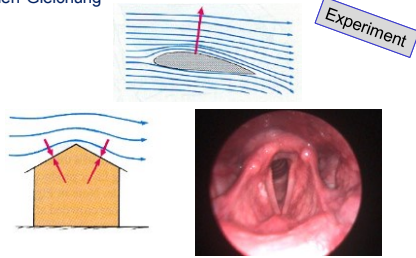
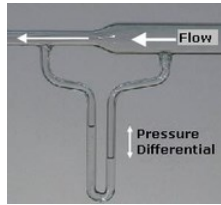
- starres Rohr **oder** stationäre Strömung
- ideale Flüssigkeit



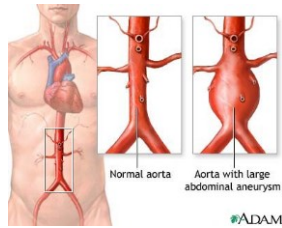
Daniel Bernoulli
1700-1782
Mathematiker
Physiker
Anatom

16

Anwendungen der bernoullischen Gleichung



Experiment



ADAM