

Transportprozesse

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

Grundskript Kapitel 10 und 11

I. Elektrischer Strom (el. Ladungstransport)

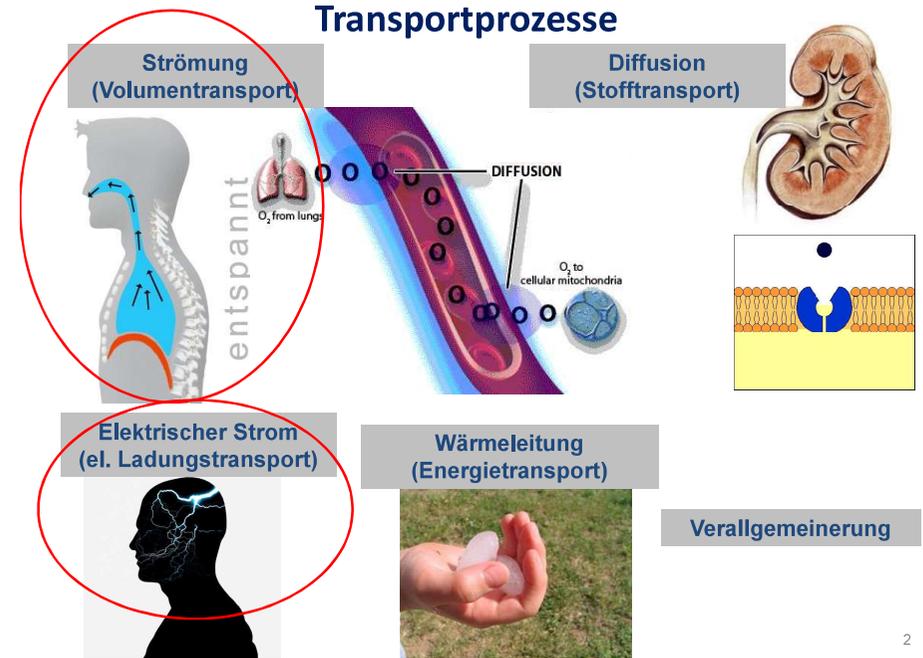
- 1. Grundbegriffe** Elektrische Stromstärke, -dichte
- 2. Transportgesetz = ohmsches Gesetz**
- 3. Anwendungen** Auf Widerstandsmessung (Impedanzmessung) basierende Techniken (IPG, IKG, EIT, ...)

II. 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



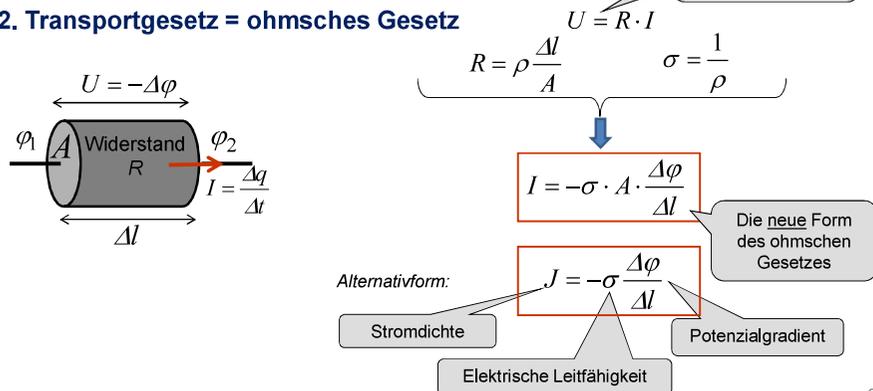
2

I. Elektrischer Strom (el. Ladungstransport)

1. Grundbegriffe

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

2. Transportgesetz = ohmsches Gesetz



3

3. Anwendungen

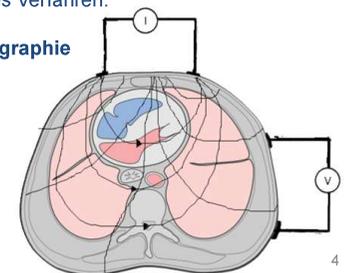
- Diagnostik
- Messung von Biopotenzialen (EKG, EEG, ...) (siehe später!)



- 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

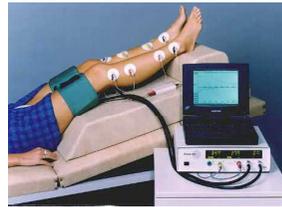
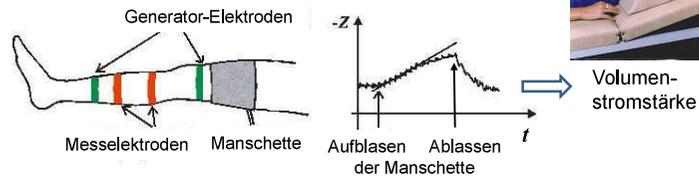
Ein bildgebendes Verfahren:
elektrische Impedanztomographie (EIT)



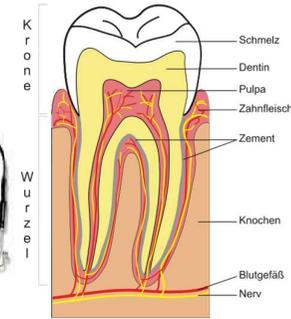
4

Impedanzplethysmographie (IPG)

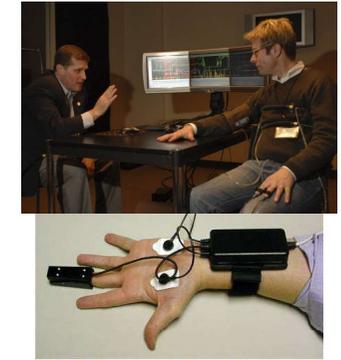
Untersuchung der Blutströmung in den Extremitäten



Apex-Locator

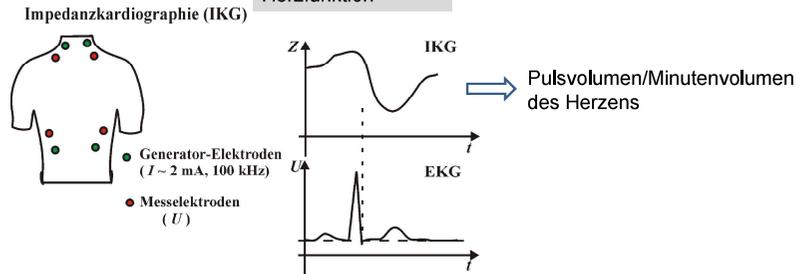


Lügendetektor

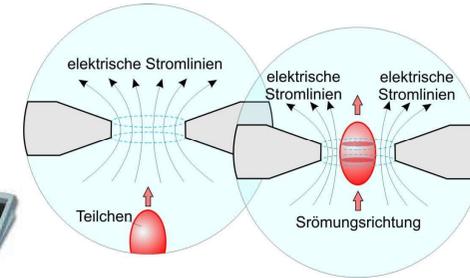


Impedanzkardiographie (IKG)

Untersuchung der Herzfunktion



Coulter-Zähler



Therapie (siehe später!)

Galvanisation / Iontophorese



Wärmetherapie



Elektrochirurgie



Elektroreizung in der Physiotherapie



Herzschrittmacher



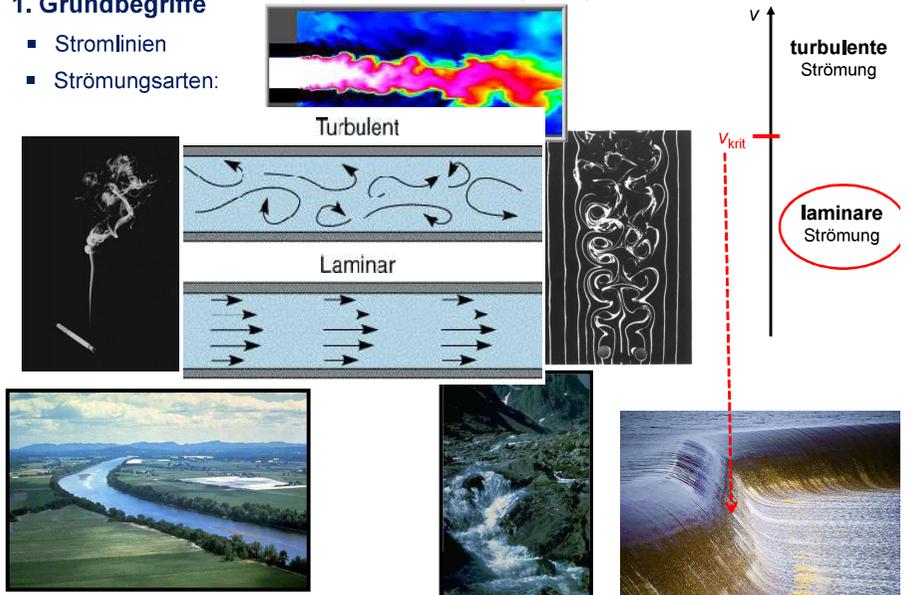
Defibrillator



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

1. Grundbegriffe

- Stromlinien
- Strömungsarten:



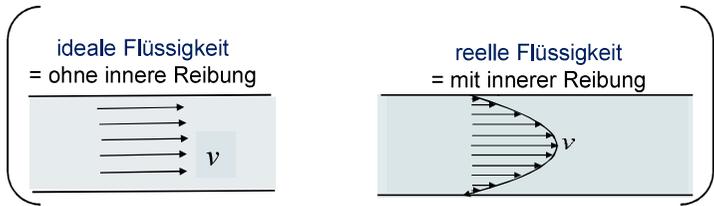
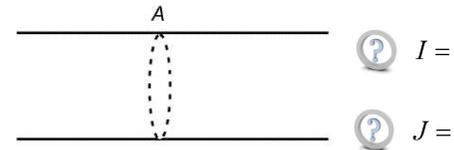
Beispiele für laminare Strömung



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

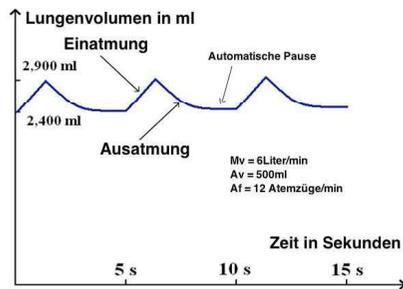
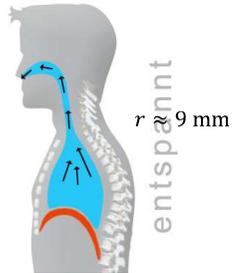


9

10

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:

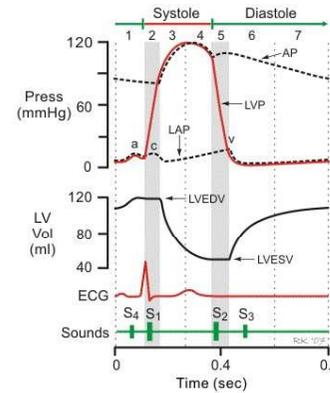
$$I_{\text{max}} =$$

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

11

Anwendung: Blutströmung

- Volumenstromstärke und Strömungsgeschwindigkeit in der Aorta?



Im Durchschnitt:

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

$$\bar{v} =$$

Maximal:

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

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

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

12

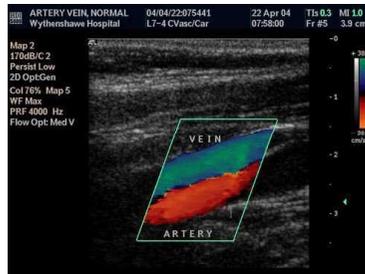
Anwendung: Blutströmung

Messmethoden der Volumenstromstärke:

Impedanz-Methoden

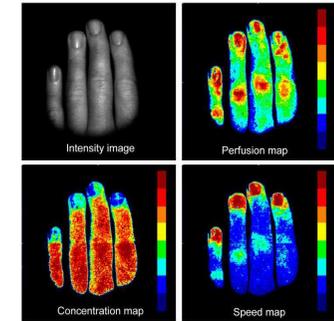
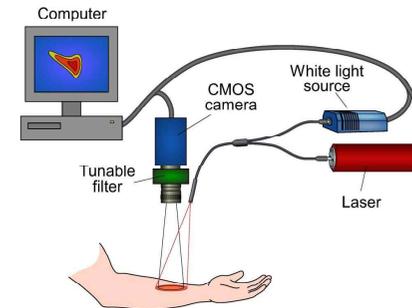
(siehe im Abschnitt I.)

Ultraschall-Doppler

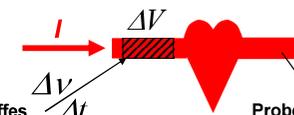


13

Laser-Doppler



Dilutionsmethoden

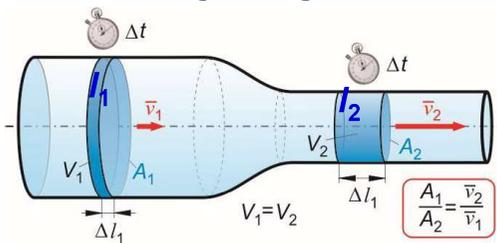


- Fluoreszenzfarbstoffe
- Radioisotope
- kalte phys. Salzlösung.
- ...

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

14

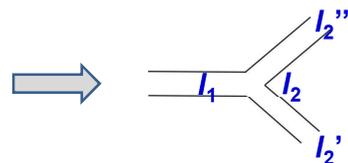
2. Kontinuitätsgleichung



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

Die Gleichung gilt nur für:

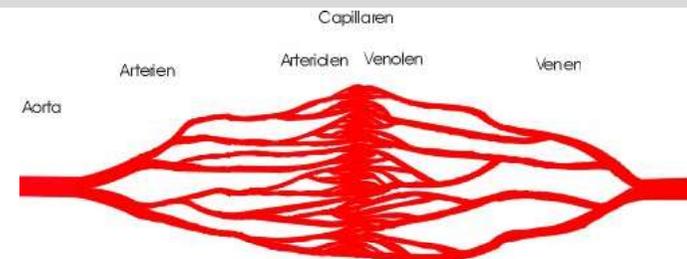
- starrs Rohr oder stationäre Strömung*
(* stationäre Strömung: in der Zeit sich nicht ändernde Strömung)



(Siehe Kirchhoffsche Knotenregel in der Elektrizitätslehre!)

15

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

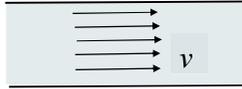


16

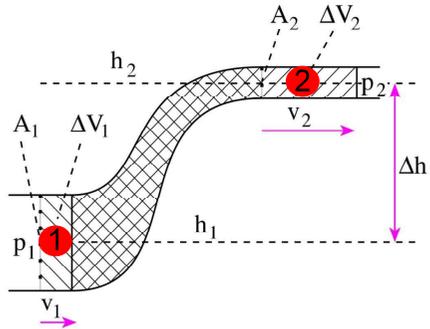
3. Strömung von idealen Flüssigkeiten

- Ideale Flüssigkeit: keine innere Reibung

- Geschwindigkeitsprofil:



- Bernoullische Gleichung:



Energieerhaltung \Rightarrow

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

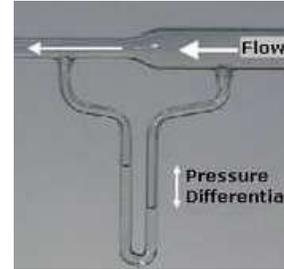
Die Gleichung gilt nur für:

- starres Rohr *oder* stationäre Strömung
- ideale Flüssigkeit

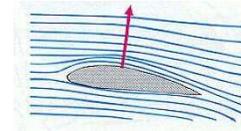


Daniel Bernoulli
1700-1782
Mathematiker
Physiker
Anatom

Anwendungen der bernoullischen Gleichung



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



Experiment

