

Medizinische Biophysik 2017. 04. 03.

Transportprozesse

III. Elektrischer Strom (el. Ladungstransport)

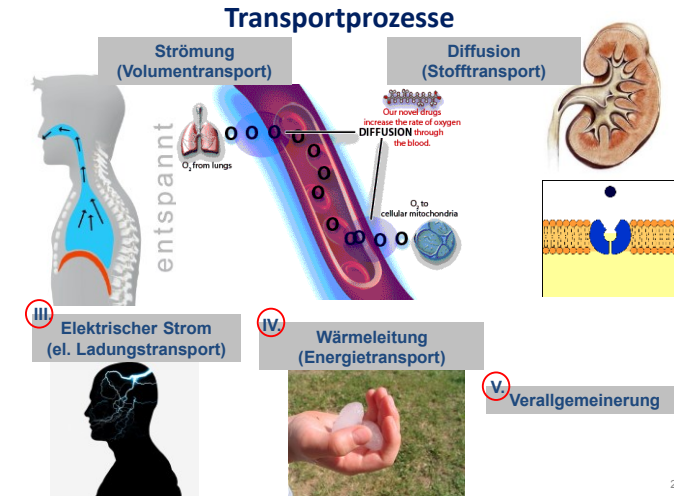
1. Grundbegriffe Elektrische Stromstärke, -dichte
2. Transportgesetz = ohmsches Gesetz
3. Anwendungen Messung der elektrischen Leitfähigkeit von Geweben (IPG, IKG, EIT, ...)

IV. Wärmeleitung (Energietransport)

0. Mechanismus
1. Grundbegriffe Energiestromstärke, -dichte
2. Transportgesetz = Fourier-Gesetz
3. Anwendungen

V. Verallgemeinerung der Transportgesetze

- Extensive und intensive Größen, 0. Hauptsatz der Thermodynamik, onsagersche Beziehung,
2. Hauptsatz der Thermodynamik

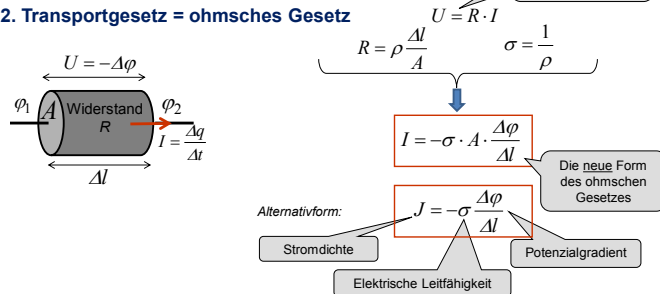


III. Elektrischer Strom (el. Ladungstransport)

1. Grundbegriffe

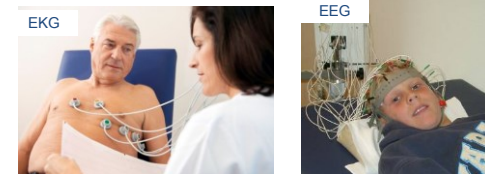
- Elektrische Stromstärke (I): $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ (A)
- Elektrische Stromdichte (J): $J = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$ ($\frac{A}{m^2}$)
- stationärer Strom: zeitlich konstant

2. Transportgesetz = ohmsches Gesetz



3. Anwendungen Diagnostik

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



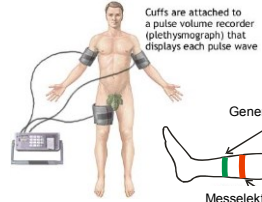
- Messung der elektrischen Leitfähigkeit von Geweben

Gewebe	σ (mS/m)
Blut	700
graue Hirnmasse	300
weiße Hirnmasse	150
Haut	100
Fett	40
Knochen	10

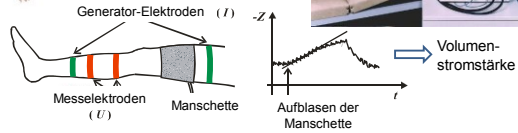
Ein bildgebendes Verfahren: die elektrische Impedanztomographie (EIT)



Impedanzplethysmographie (IPG)



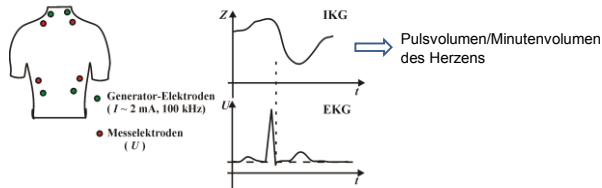
Untersuchung der Blutströmung in den Extremitäten



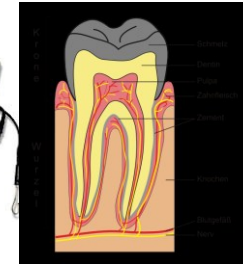
Impedanzkardiographie (IKG)

Untersuchung der Herzfunktion

Impedanzkardiographie (IKG)



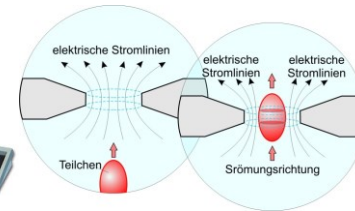
Apex-Locator



Lügendetektor



Coulter-Zähler



Therapie (ausführlicher siehe später!)

Galvanisation / Iontophorese



Wärmetherapie



Elektrochirurgie



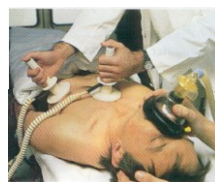
Elektroreizung in der Physiotherapie



Herzschrittmacher



Defibrillator

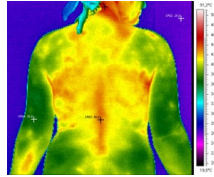


Analogie

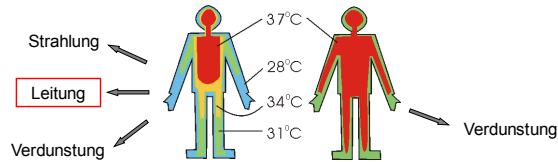
	Was strömt?	Stärke?	Was treibt die Strömung?	Zusammenhang?
Volumen-transport	V	$J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$	p	$J_V = -\frac{R^2}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta l}$
Stoff-transport	v	$J_v = \frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t}$	c	$J_v = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$
Ladungs-transport	q	$J_q = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$	φ	$J_q = -\sigma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$

Wärmebildung und -abgabe

Aktivität	Wärmebildung (W)
In Ruhe	115
Langsames Spazieren	260
Radfahren (15 km/h)	420
Treppensteigen (2/s)	700
Laufen (15 km/h)	1150



Umgebungstemperatur
20°C → 35°C



Zur Erinnerung

9

- Wärmeleitfähigkeit: ➤ stoffspezifisch

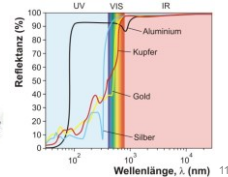
Stoff	λ (W/(m·K))
Silber	420
Glas	1
Wasser	0,6
Muskel	0,4
Fett	0,2
Luft	0,025

3. Anwendungen (Zusammenfassung der Wärmeabgabemechanismen)

- Temperaturstrahlung $\Delta P = \sigma \cdot (T_{\text{Körper}}^4 - T_{\text{Umgebung}}^4) \cdot A$

$$T_{\text{Körper}} = 28^\circ\text{C} \quad T_{\text{Umgebung}} = 20^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad \Delta P = 83 \text{ W}$$

$$T_{\text{Umgebung}} = 0^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad \Delta P = 290 \text{ W !}$$



11

IV. Wärmeleitung (Energietransport)

0. Mechanismus: Stöße zw. Atomen und Molekülen + freie Elektronen = **Konduktion**

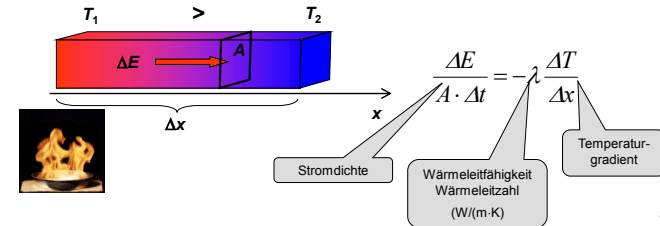
1. Grundbegriffe

- Energiestromstärke (I): $I = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W} \right)$
(Wärmestromstärke)
- Energiestromdichte (J): $J = \frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t} \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$
(Wärmestromdichte)



J. B. J. Fourier
1768-1830
Mathematiker
und Physiker

2. Transportgesetz = Fourier-Gesetz



10

- Wärmeleitung $P = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$
 $T_{\text{Körper}} = 28^\circ\text{C} \Rightarrow P \approx 40 \text{ W}$
 $T_{\text{Umgebung}} = 20^\circ\text{C}$
➤ Luft ↔ Wasser als Umgebung
➤ Strömungen! (z. B. Wind)



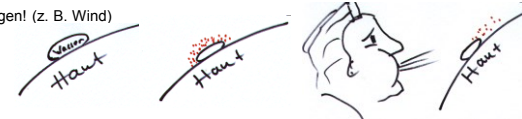
Verdunstung

- hohe spez. Verdampfungswärme von Wasser: $\approx 2400 \text{ kJ/kg}$ (bei 30°C) !!

- Wasserverlust: ständig $\approx 50 \text{ ml/h} \Rightarrow \approx 35 \text{ W}$
bei Extrembedingungen $\approx 1600 \text{ ml/h} \Rightarrow \approx 1000 \text{ W !!}$



- Strömungen! (z. B. Wind)



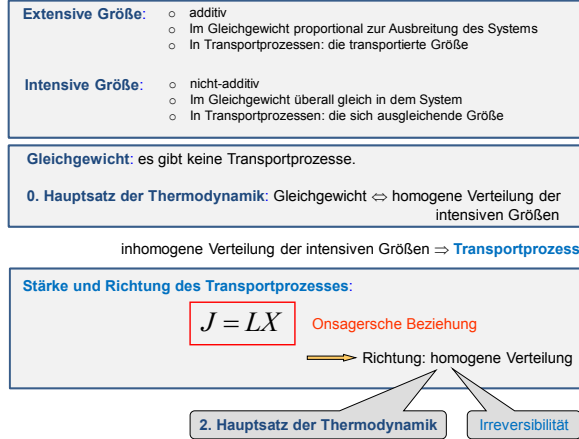
12

V. Verallgemeinerung der Transportgesetze

	Was strömt?	Stärke?	Was treibt die Strömung?	Zusammenhang?
Volumen-transport	V	$J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$	p	$J_V = -\frac{R^2}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta l}$
Stoff-transport	v	$J_v = \frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t}$	c^*	$J_v = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$
Ladungs-transport	q	$J_q = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$	φ	$J_q = -\sigma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$
Energie-transport	E	$J_E = \frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t}$	T	$J_E = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$
allgemein	x_{ext}	$J = \frac{\Delta x_{\text{ext}}}{A \cdot \Delta t}$ extensive Gr. Strom-dichte	y_{int}	$X = -\frac{\Delta y_{\text{int}}}{\Delta x}$ intensive Gr. termo-dynamische Kraft onsagersche Beziehung

* Im allgemeinen Fall μ

13



14