

# Medizinische Biophysik 2017. 04. 03.

## Transportprozesse

### III. Elektrischer Strom (el. Ladungstransport)

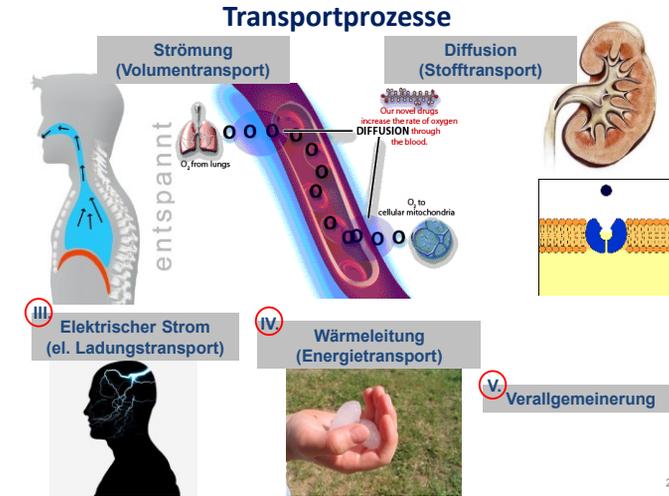
1. Grundbegriffe Elektrische Stromstärke, -dichte
2. Transportgesetz = ohmsches Gesetz
3. Anwendungen Messung der elektrischen Leitfähigkeit von Geweben (IPG, IKG, EIT, ...)

### 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

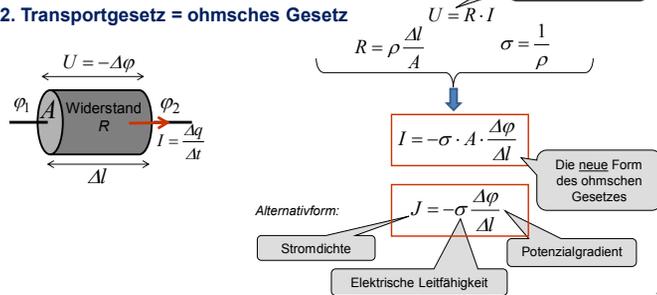


### III. Elektrischer Strom (el. Ladungstransport)

#### 1. Grundbegriffe

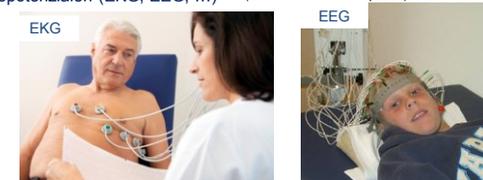
- Elektrische Stromstärke ( $I$ ):  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$  (A)
- Elektrische Stromdichte ( $J$ ):  $J = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$  ( $\frac{A}{m^2}$ )
- stationärer Strom: zeitlich konstant

#### 2. Transportgesetz = ohmsches Gesetz



### 3. Anwendungen Diagnostik

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



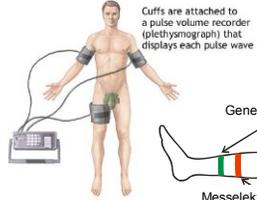
- Messung der elektrischen Leitfähigkeit von Geweben

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

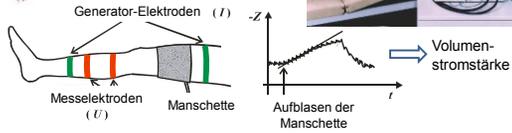
Ein bildgebendes Verfahren: die elektrische Impedanztomographie (EIT)



### Impedanzplethysmographie (IPG)



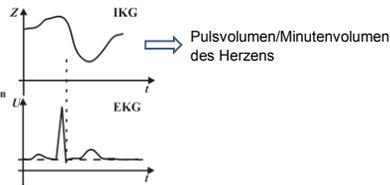
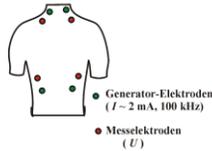
Untersuchung der Blutströmung in den Extremitäten



### Impedanzkardiographie (IKG)

Untersuchung der Herzfunktion

Impedanzkardiographie (IKG)



5

- Therapie (ausführlicher siehe später!)

#### Galvanisation / Iontophorese



#### Wärmetherapie



#### Elektrochirurgie



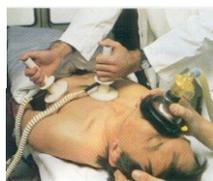
#### Elektroreizung in der Physiotherapie



#### Herzschrittmacher

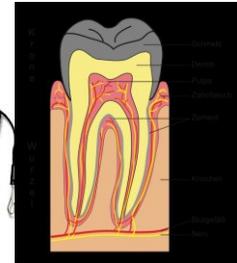


#### Defibrillator



7

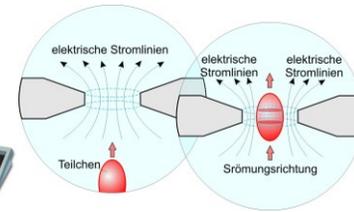
#### Apex-Locator



#### Lügendetektor



#### Coulter-Zähler



6

### Analogie

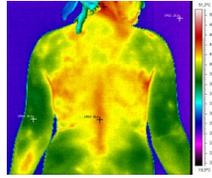
	Was strömt?	Stärke?	Was treibt die Strömung?	Zusammenhang?
<b>Volumen-transport</b>	$V$	$J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$	$p$	$J_V = -\frac{R^2 \Delta p}{8\eta \Delta l}$
<b>Stoff-transport</b>	$v$	$J_v = \frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t}$	$c$	$J_v = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$
<b>Ladungs-transport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

8

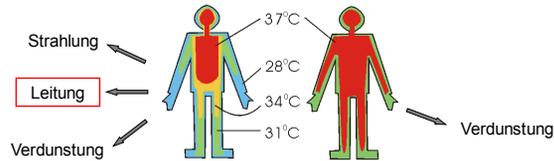
## Wärmebildung und -abgabe

Zur Erinnerung

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



- Wärmeleitfähigkeit: > stoffspezifisch

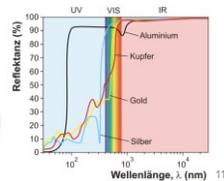
Stoff	$\lambda$ (W/(m·K))
Silber	420
Glas	1
Wasser	0,6
Muskel	0,4
Fett	0,2
Luft	0,025

### 3. Anwendungen (Zusammenfassung der Wärmeabgabemechanismen)

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

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

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



## IV. Wärmeleitung (Energietransport)



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

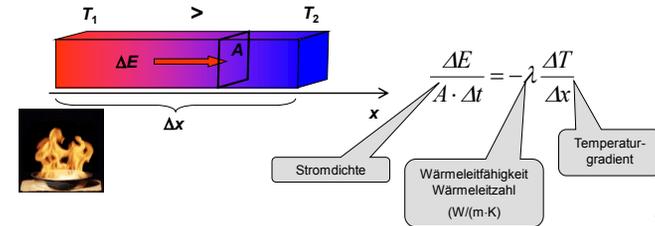
0. Mechanismus: Stöße zw. Atomen und Molekülen + freie Elektronen = Konduktion

### 1. Grundbegriffe

- Energiestromstärke ( $I$ ):  $I = \frac{\Delta E}{\Delta t}$  ( $\frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W}$ )  
(Wärmestromstärke)

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

### 2. Transportgesetz = Fourier-Gesetz



- Wärmeleitung  $P = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$

$$T_{\text{Körper}} = 28^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P = 40 \text{ W}$$

$$T_{\text{Umgebung}} = 20^\circ\text{C}$$

- Luft ↔ Wasser als Umgebung
- Strömungen! (z. B. Wind)



- Verdunstung

> hohe spez. Verdampfungswärme von Wasser: ≈ 2400 kJ/kg (bei 30°C) !!

> Wasserverlust: ständig ≈ 50 ml/h ⇒ ≈ 35 W

bei Extrembedingungen  
≈ 1600 ml/h ⇒ ≈ 1000 W !!



- Strömungen! (z. B. Wind)



## V. Verallgemeinerung der Transportgesetze

	Was strömt?	Stärke?	Was treibt die Strömung?	Zusammenhang?
<b>Volumen-transport</b>	$V$	$J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$	$p$	$-\frac{\Delta p}{\Delta x}$ $J_V = -\frac{R^2}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta x}$
<b>Stoff-transport</b>	$v$	$J_v = \frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t}$	$c^*$	$-\frac{\Delta c}{\Delta x}$ $J_v = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$
<b>Ladungs-transport</b>	$q$	$J_q = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$	$\varphi$	$-\frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$ $J_q = -\sigma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$
<b>Energie-transport</b>	$E$	$J_E = \frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t}$	$T$	$-\frac{\Delta T}{\Delta x}$ $J_E = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$
<b>allgemein</b>	$x_{\text{ext}}$	$J = \frac{\Delta x_{\text{ext}}}{A \cdot \Delta t}$	$y_{\text{int}}$	$X = -\frac{\Delta y_{\text{int}}}{\Delta x}$ $J = LX$

extensive Gr. Strom-dichte

intensive Gr. termo-dynamische Kraft

onsagersche Beziehung

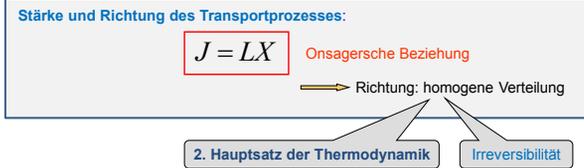
\* Im allgemeinen Fall  $\mu$

13

<b>Extensive Größe:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ additiv</li> <li>○ Im Gleichgewicht proportional zur Ausbreitung des Systems</li> <li>○ In Transportprozessen: die transportierte Größe</li> </ul>
<b>Intensive Größe:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ nicht-additiv</li> <li>○ Im Gleichgewicht überall gleich in dem System</li> <li>○ In Transportprozessen: die sich ausgleichende Größe</li> </ul>

**Gleichgewicht:** es gibt keine Transportprozesse.  
**0. Hauptsatz der Thermodynamik:** Gleichgewicht  $\Leftrightarrow$  homogene Verteilung der intensiven Größen

inhomogene Verteilung der intensiven Größen  $\Rightarrow$  **Transportprozesse**



14