

# Medizinische Biophysik

22

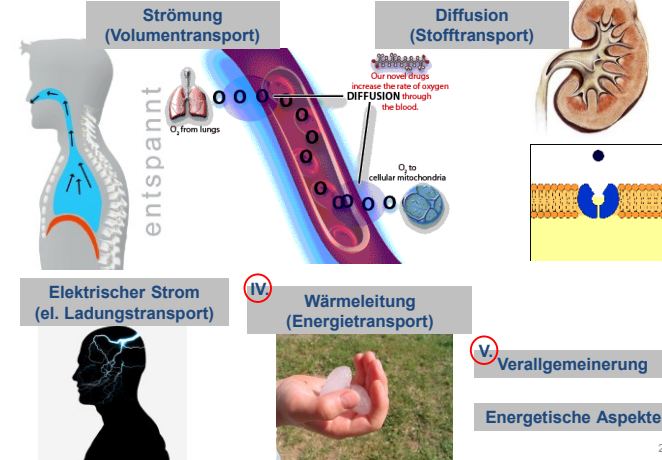
## Transportprozesse

Wärmeleitung  
Verallgemeinerung



1

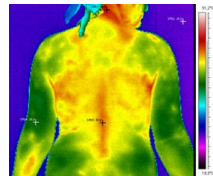
## Transportprozesse



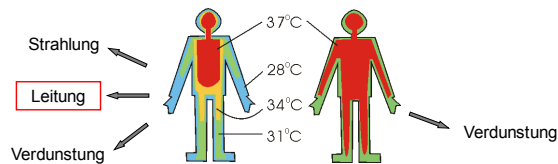
2

## Wärmebildung und -abgabe

Aktivität	Wärme-bildung (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



3

## IV. Energietransport (Wärmeleitung)

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

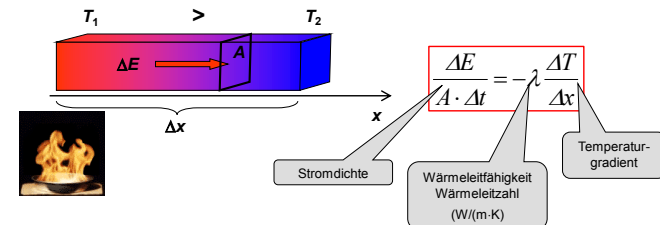
### 1. Grundbegriffe

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



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

### 2. Transportgesetz = Fourier-Gesetz



4

- Wärmeleitfähigkeit: ➤ stoffspezifisch

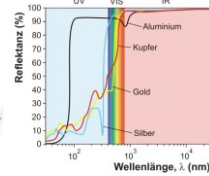
Stoff	$\lambda$ (W/(m·K))
Silber	420
Glas	1
Wasser	0,6
Muskel	0,4
Fett	0,2
Luft	0,025

### 3. Anwendungen (für alle Mechanismen)

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

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

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



5

- Wärmeleitung ➤ Luft ↔ Wasser als Umgebung
- Strömungen! ➡



### Verdunstung

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

- Wasserverlust:

$$\text{ständig} \approx 50 \text{ ml/h} \Rightarrow \approx 35 \text{ W}$$

$$\text{bei Extrembedingungen} \approx 1600 \text{ ml/h} \Rightarrow \approx 1000 \text{ W !!}$$



6

## V. Zusammenfassung

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

extensive Gr. Strom-dichte

intensive Gr. thermo-dynamische Kraft

onsagersche Beziehung

\* Im allgemeinen Fall  $\mu$

7

**Extensive Größe:**

- additiv
- Im Gleichgewicht proportional zur Ausbreitung des Systems
- In Transportprozessen: die transportierte Größe

**Intensive Größe:**

- nicht-additiv
- Im Gleichgewicht überall gleich in dem System
- In Transportprozessen: die sich ausgleichende Größe

**Gleichgewicht:** es gibt keine Transportprozesse.

**0. Hauptsatz der Thermodynamik:** Gleichgewicht  $\Leftrightarrow$  homogene Verteilung der intensiven Größen

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

**Stärke und Richtung des Transportprozesses:**

$J = LX$ 

Onsagersche Beziehung
 

➡ Richtung: homogene Verteilung

2. Hauptsatz der Thermodynamik

Irreversibilität

8

- Biophysik für Mediziner:
- III/3.1.1
  - III/3.2